ETHICS EPF-DMA
01500001127630

DMA
LAUSANNE
EPF
BIBLIOTHEQUE

2001, 295
11 Taf.

LETTRES
A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE
SUR DIVERS SUJETS
DE
PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

TOME TROISIÉME

GENÈVE
CHEZ BARTHELEMI CHIROL.

M. DCC. LXX. V.

J. Ziegler Fils
AXA 231:3(1775)
01. Eul

2001, 295

DMA
LAUSANNE
EPF
BIBLIOTHEQUE

TABLE
DES MATIÉRES
DU
TOME TROISÉME.

LETTRE CLV. *Problême des Longitudes: Déscription générale de la terre.* pag. 1
LETTRE CLVI. *Grandeur de la terre; des méridiens & du plus court chemin.* 5
LETTRE CLVII. *De la Latitude & de son influence sur les saisons & la longueur des jours.* 10
LETTRE CLVIII. *Des paralleles, du premier méridien & des Longitudes.* 14
LETTRE CLIX. *Choix du premier méridien.* 19
LETTRE CLX. *Méthode de déterminer la Latitude ou l'élévation du Pole.* 24
LETTRE CLXI. *Connoissance des Longitudes par l'estime du chemin parcouru.* 28
LETTRE CLXII. *Continuation. Défauts de cette méthode.* 32
LETTRE CLXIII. *Seconde méthode de déterminer les longitudes par le moyen d'une horloge éxacte.* 36
LETTRE CLXIV. *Continuation & éclaircissemens ultérieurs.* 41

LETTRE CLXV. *Eclipses de lune, troisiéme méthode pour les Longitudes.* pag. 45
LETTRE CLXVI. *Observations des éclipses des Satellites de Jupiter, quatriéme méthode pour les Longitudes.* 50
LETTRE CLXVII. *Le mouvement de la Lune, cinquiéme méthode.* 54
LETTRE CLXVIII. *Avantages de cette derniére méthode; dégré de sa précision.* 58
LETTRE CLXIX. *Sur la boussole & les propriétés de l'aiguille aimantée.* 62
LETTRE CLXX. *Déclinaison de la boussole & maniére de l'observer.* 67
LETTRE CLXXI. *Variation qu'éprouve la déclinaison de la boussole au même endroit.* 71
LETTRE CLXXII. *Carte des déclinaisons; maniére de s'en servir à découvrir les Longitudes.* 75
LETTRE CLXXIII. *Pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, diférente en diférens endroits, & par quelle raison elle change au même endroit avec le tems?* 80
LETTRE CLXXIV. *Eclaircissemens sur la cause & la variation de la déclinaison des aiguilles aimantées.* 84
LETTRE CLXXV. *Inclinaison des aiguilles aimantées.* 89
LETTRE CLXXVI. *Véritable direction magnétique; matiére subtile qui produit la force magnétique.* 94

LETTRE CLXXVII. *Nature de la matiére magnétique, & de son courant rapide. Canaux magnétiques.* pag. 98
LETTRE CLXXVIII. *Tourbillon magnétique. Action des aimans l'un sur l'autre.* 102
LETTRE CLXXIX. *Nature du fer & de l'acier. Maniére dont ils peuvent recevoir la force magnétique.* 106
LETTRE CLXXX. *Action des aimans dans le fer. Phénoménes qu'on observe en mettant des piéces de fer près d'un aimant.* 111
LETTRE CLXXXI. *Armature des aimans.* 116
LETTRE CLXXXII. *Action & force des aimans armés.* 120
LETTRE CLXXXIII. *Maniére de communiquer à l'acier la force magnétique & d'aimanter les aiguilles des boussoles; la simple touche, ses défauts; moyens d'y remédier.* 125
LETTRE CLXXXIV. *Sur la double touche. Moyens de conserver la matiére magnétique dans les barres aimantées.* 129
LETTRE CLXXXV. *Comment on communique aux barres d'acier une très-grande force magnétique, par d'autres barres qui l'ont très-foible.* 134
LETTRE CLXXXVI. *Fabrique des aimans artificiels en forme de fers à cheval.* 138
LETTRE CLXXXVII. *Sur la Dioptrique; Instrumens qu'elle nous fournit: Des Télescopes & Microscopes. Diférentes figu-*

res qu'on donne aux verres ou lentilles. pag. 143
LETTRE CLXXXVIII. *Diférence entre les lentilles par rapport à la courbure de leurs faces. Distribution des lentilles en trois classes.* 147
LETTRE CLXXXIX. *Effet des verres convêxes.* 152
LETTRE CXC. *Sur le même sujet: distance de foyer des verres convêxes.* 155
LETTRE CXCI. *Distance de l'image des objets.* 160
LETTRE CXCII. *Grandeur des images.* 164
LETTRE CXCIII. *Verres ardens.* 168
LETTRE CXCIV. *Chambres obscures.* 172
LETTRE CXCV. *Réflexions sur la représentation dans les chambres obscures.* 177
LETTRE CXCVI. *Lanternes magiques & microscopes solaires.* 181
LETTRE CXCVII. *Usage & effet d'un verre convêxe simple.* 185
LETTRE CXCVIII. *Usage & effet d'un verre concave.* 189
LETTRE CXCIX. *De la grandeur apparente, de l'angle visuel, & des microscopes en général.* 194
LETTRE CC. *Estime des grossissemens des objets contemplés par des microscopes.* 198
LETTRE CCI. *Proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Dévis de quelques microscopes simples.* 203

LETTRE CCII. *Bornes & défauts des microscopes simples.* pag. 206
LETTRE CCIII. *Sur les Télescopes, & leur effet.* 211
LETTRE CCIV. *Lunettes d'approche ou de poches.* 215
LETTRE CCV. *Sur leurs grossissemens.* 220
LETTRE CCVI. *Défauts des lunettes de poches. Du champ apparent.* 225
LETTRE CCVII. *Détermination du champ apparent pour les lunettes de poches.* 230
LETTRE CCVIII. *Lunettes astronomiques & leurs grossissemens.* 234
LETTRE CCIX. *Sur leur champ apparent, & le lieu de l'œil.* 237
LETTRE CCX. *Détermination du grossissement d'une lunette astronomique, & construction de lunettes qui grossissent les objets un nombre de fois donné.* 243
LETTRE CCXI. *Dégré de clarté.* 247
LETTRE CCXII. *Ouverture des objectifs.* 252
LETTRE CCXIII. *Netteté dans l'expression: sur l'espace de diffusion causée par l'ouverture des objectifs, & considérée comme la première source du défaut de netteté dans la représentation.* 257
LETTRE CCXIV. *Diminution de l'ouverture des verres, & autres moyens de diminuer l'espace de diffusion & de la réduire même à rien.* 262

LETTRE CCXV. *Des objectifs composés.* pag. 267

LETTRE CCXVI. *Formation des objectifs simples.* 271

LETTRE CCXVII. *Seconde source du défaut de netteté dans la représentation par les lunettes. Diférente réfrangibilité des rayons.* 276

LETTRE CCXVIII. *Moyen de remédier à ce défaut par des objectifs composés.* 281

LETTRE CCXIX. *Autre moyen plus praticable.* 285

LETTRE CCXX. *Récapitulation des qualités d'une bonne lunette.* 290

LETTRE CCXXI. *Lunettes terrestres à quatre verres.* 294

LETTRE CCXXII. *Arrangement des verres dans ces lunettes.* 298

LETTRE CCXXIII. *Précautions à observer dans la construction des lunettes. Nécessité de noircir l'intérieur des tubes. Diaphragmes.* 302

LETTRE CCXXIV. *Comment les lunettes nous représentent la lune, les planètes, le soleil & les étoiles fixes: pourquoi ces derniéres*

paroissent plus petites par les lunettes qu'à l'œil. Estime de la distance des étoiles fixes en comparant leurs grandeurs apparentes avec celle du soleil. pag. 306

LETTRE CCXXV. *Pourquoi la lune & le soleil paroissent plus grands au lever & au coucher, qu'à une certaine hauteur? Difficultés pour expliquer ce phénomène.* 310

LETTRE CCXXVI. *Réflêxions sur cette question, & applanissement des difficultés. Explications absurdes.* 314

LETTRE CCXXVII. *Acheminement à la vraie explication de ce phénomène. La lune paroît plus éloignée à l'horizon, au haut du ciel.* 318

LETTRE CCXXVIII. *Les espaces du ciel paroissent sous la forme de voute applatie vers le zénith.* 322

LETTRE CCXXIX. *Raisons de l'affoiblissement de la lumiére des astres à l'horizon.* 327

LETTRE CCXXX. *Illusions sur la distance des objets & l'affoiblissement de la lumiére.* 330

LETTRE CCXXXI. *Sur le bleu du ciel.* 334

LETTRE CCXXXII. *Ce que nous obſerverions, ſi l'air étoit parfaitement tranſparent.* pag. 338

LETTRE CCXXXIII. *Réfraction des rayons de la lumiére dans l'atmoſphère, & ſes effets. Des crépuſcules; du lever & du coucher apparens des aſtres.* 342

LETTRE CCXXXIV. *Les aſtres nous paroiſſent plus élevés qu'ils ne le ſont. Table des réfractions.* 346

FIN DE LA TABLE DES MATIÉRES DU TOME III.

LETTRES
ÉCRITES
A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE
SUR DIVERS SUJETS
DE
PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

LETTRE CLV.

MADAME,

VOTRE ALTESSE jugera, sans-doute, qu'il est tems de quitter l'électricité; aussi n'ai-je plus rien à dire sur ce sujet; mais je ne suis pas sans embarras pour trouver une matiére digne de votre attention.

Je crois que pour ce choix, je dois avoir égard aux matiéres qui intéressent le plus nos connoissances, & dont les écrivains parlent souvent; matiéres, sur lesquelles on peut prétendre, que les personnes de qualité soient suffisamment instruites.

V. A. ayant ſans-doute ſouvent entendu parler du fameux problème des longitudes, ſur la ſolution duquel les Anglois ont promis de grands prix, je crois que mes inſtructions feront bien placées, quand elles tendront à la mettre au fait de cette queſtion importante, liée ſi étroitement avec la connoiſſance de notre globe qu'il n'eſt pas permis de l'ignorer; ce qui me fournira l'occaſion d'expliquer quantité d'articles intéreſſans, dont l'éclairciſſement fera plaiſir à V. A.

Je commencerai donc par une deſcription générale de la terre, qui peut être regardée comme un globe, quoiqu'on ait trouvé dans ces derniers tems, que ſa véritable figure eſt une ſphéroïde tant ſoit peu applatie; mais la diférence eſt ſi petite, que nous pouvons bien la laiſſer de côté.

Nous devons remarquer premiérement ſur le globe terreſtre, les deux points placés ſur ſa ſurface nommés les deux poles de la terre. C'eſt autour de ces deux points, que le globe tourne chaque jour, comme tourneroit un globe qu'on tient fixe entre les deux pointes d'un tour; ce mouvement eſt nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque tour s'achève environ en 24 heures. Ou ſi nous voulons parler ſelon les apparences, V. A. ſait que le ciel, que nous regardons comme une boule creuſe au milieu de laquelle ſe trouve la terre, paroît tourner autour d'elle dans le même eſpace de 24 heures; ce

mouvement ſe fait auſſi autour de deux points fixes dans le ciel, qu'on nomme poles du ciel; & ſi nous concevons une ligne droite tirée d'un des poles du ciel à l'autre, elle paſſera par le milieu de la terre.

V. A. comprend aiſément que les apparences doivent être les mêmes, que la terre tourne autour de ces poles, le ciel reſtant en repos, ou que le ciel tourne autour de ſes poles, la terre demeurant en repos. L'une & l'autre conſidération nous conduit également à la connoiſſance des poles de la terre, ſur laquelle l'aſtronomie & la géographie ſont fondées.

La *fig.* I. *Tab. I.* repréſente le globe de la terre, dont les poles ſont les points A & B; l'un de ces poles A eſt nommé le *pole auſtral*, ou *méridional*, & auſſi *pole antarctique.* L'autre pole *B* eſt nommé *boréal*, ou *ſeptentrional* ſoit *pole arctique*; ce dernier eſt le plus proche des endroits que nous habitons.

Remarquons que ces deux poles ſont directement oppoſés l'un à l'autre; & que ſi l'on tiroit une ligne droite de l'un A & de l'autre B, en-dedans de la terre, elle paſſeroit préciſément par le milieu C, c'eſt-à-dire, par le centre de la terre. Cette ligne droite A B porte auſſi ſon nom, & ſe nomme *axe de la terre*, qui prolongé de part & d'autre juſqu'au ciel, y marquera les points qu'on nomme poles du ciel, & auxquels on donne les mêmes noms qu'à ceux de la terre.

Ces deux poles de la terre ne ſont pas une

ſimple fiction, ni une ſpéculation des aſtronomes & des géographes, mais plutôt des points très-eſſentiels, marqués ſur la ſurface de notre terre; car nous ſavons que plus on s'en approche plus les contrées deviennent rudes & froides, deſorte que les pays qui ſont autour ſont abſolument inhabitables, à cauſe du froid exceſſif qui y règne: auſſi ne trouve-t-on pas d'éxemples qu'aucun voyageur ni aucun vaiſſeau ait pu parvenir juſqu'à l'un ou l'autre des poles; on peut donc dire que ces deux endroits de la terre ſont abſolument inacceſſibles.

Ayant ainſi déterminé les deux poles de la terre A & B on la conçoit partagée en deux hémiſphères comme DBE & DAE, dont chacune porte, dans ſon ſommet, l'un des poles. Il faut, pour cet effet, couper la terre par ſon centre C, deſorte que la ſection ſoit perpendiculaire à l'axe de la terre; cette ſection marquera, ſur la ſurface de la terre, un cercle qui paſſe tout autour d'elle, & qui eſt éloigné partout également des deux poles. Ce cercle qui entoure la terre par ſon milieu porte le nom *d'équateur;* les pays qui en ſont près ſont les plus chauds, & prèſqu'inhabitables, à ce que croyoient les anciens, mais aujourd'hui, on les trouve aſſez habités, quoique la chaleur y ſoit prèſqu'inſupportable.

En s'éloignant de l'équateur de part & d'autre vers les poles, les contrées deviennent de plus en plus tempérées, juſqu'à ce que le froid devienne enfin inſoutenable, lorſqu'on s'en approche trop.

Comme l'équateur partage la terre en deux hémiſphères, chacun porte le nom du pole qui s'y trouve; ainſi la moitié DBE, qui contient le pole boreal, eſt nommée *hémiſphère boréal*, dans lequel eſt ſituée l'Europe, prèſque toute l'Aſie, une partie de l'Afrique & la moitié de l'Amérique. L'autre hémiſphère DAE eſt nommé *hémiſphère méridional* ou *auſtral*, & contient la plus grande partie de l'Afrique, l'autre moitié de l'Amérique & pluſieurs isles, qu'on rapporte à l'Aſie, comme V. A. l'aura vu ſur la mappe-monde.

le 18 *Août* 1761.

LETTRE CLVI.

Après avoir bien fixé l'idée des poles & de l'équateur, que V. A. peut mieux s'imaginer ſur un globe que je ne puis le repréſenter par une figure, les autres idées dont nous avons beſoin en ſuivront aiſément.

Je dois cependant y ajouter encore un plus grand éclairciſſement. L'axe de la terre paſſant d'un pole à l'autre par le centre, eſt le diamêtre du globe de la terre, & par conſéquent, deux fois plus grand que le rayon; on eſtime le rayon de la terre, ou la diſtance de chaque point de la ſurface au centre de 8600 milles d'Allemagne; l'axe de la terre contiendra donc 1720 milles d'Allemagne. Et l'équateur étant

un cercle dont le centre eſt au centre de la terre, le rayon étant le même que celui de la terre, ſavoir, de 860 milles, le diamètre de l'équateur ſera auſſi de 1720 milles; toute la circonférence de l'équateur contiendra 5400 milles; ou ſi l'on vouloit faire le tour de la terre en ſuivant l'équateur, il faudroit parcourir un chemin de 5400 milles; on peut juger par-là de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le diviſe en 360 parties égales, qu'on nomme *dégrés*; un dégré de l'équateur contient donc préciſément 15 milles d'Allemagne, puiſque 15 fois 360 font 5400.

Chaque dégré eſt encore ſubdiviſé en 60 parties égales, qu'on nomme *minutes*, deſorte que chaque minute contient la quatriéme partie d'un mille d'Allemagne, ou environ 6000 pieds; & une *ſeconde*, étant la ſoixantiéme partie d'une minute, contiendra 100 pieds.

Dans l'impoſſibilité de repréſenter ſur le papier un globe autrement que par un cercle, V. A. y ſuppléera par l'imagination. Ainſi, *Tab.* I. *fig.* 2. B, A, étant les deux poles de la terre; B, le boréal & A, l'auſtral; DMNE repréſentera l'équateur, ou plutôt la moitié qui en eſt tournée vers nous, l'autre nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous repréſente donc un demi-cercle auſſi bien que BDA & BEA, tous ces demi-cercles ayant leurs centres à celui du globe C. On peut s'imaginer une infinité d'au-

tres demi-cercles, tous tirés par les deux poles A & B de la terre & paſſant d'autant de points diférens de l'équateur qu'il y a de demi-cercles diférens, comme BMA, BNA; ceux-ci ſeront tous ſemblables aux premiers demi-cercles BDA & BEA; quoique dans la figure, leurs traits ſoient très-diférens, l'imagination doit y ſuppléer, car la choſe eſt très-évidente ſur un globe.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pole à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils paſſent, ſont nommés *méridiens*; ou plutôt, un *méridien* n'eſt autre choſe qu'un demi-cercle qui, ſur la ſurface de la terre, eſt tiré d'un pole à l'autre; & V. A. comprend que, prenant un lieu quelconque ſur la ſurface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA qui, paſſant par les deux poles, traverſe ce lieu L. On nomme alors ce méridien, *le méridien du lieu* L. Si par éxemple L étoit Berlin, le demi-cercle BLMA ſeroit le méridien de Berlin; & ainſi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. peut ſe repréſenter un globe, ſur la ſurface duquel ſont deſſinés tous les pays de la terre, le continent auſſi bien que la mer avec ſes isles. Ce globe artificiel, qu'on appelle *globe terreſtre*, ne peut pas être inconnu à V. A. Quant à tous les méridiens, qu'on peut y concevoir, & dont un grand nombre eſt tiré ſur le globe, je remarque, que chacun étant un demi-cercle, eſt partagé par l'équateur en deux

parties égales, dont chacune se trouve être un quart de cercle, c'est-à-dire, un arc de 90 dégrés. Ainsi BD, BM, BN, BE sont des quarts de cercle, aussi bien que AD, AM, AN & AE; chacun contient donc 90 dégrés: on y peut encore ajouter, que chacun est perpendiculaire à l'équateur, faisant avec lui des angles droits.

De plus, si l'on vouloit voyager du point de l'équateur M jusqu'au pole B, le plus court chemin seroit de suivre la route du méridien MLB, qui étant un arc de 90 dégrés, & un dégré contenant 15 milles d'Allemagne, le plus court chemin seroit de 1350 milles, qu'il faudroit parcourir pour aller de l'équateur jusqu'à l'un des poles.

V. A. se souviendra que le plus court chemin d'un lieu à l'autre, est la ligne droite tirée par ces deux lieux; ici la ligne droite tirée du point M de l'équateur jusqu'au pole B tomberoit au-dedans de la terre, route impossible à suivre, parceque nous sommes tellement attachés à la surface de la terre, que nous ne saurions nous en écarter. C'est pourquoi la question devient bien diférente, quand il s'agit du plus court chemin sur la surface d'un globe, qui conduit d'un endroit à l'autre. Ce plus court chemin n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, & dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit

ici; car pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pole B; l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de-là jusqu'au pole B, sera l'arc LB; & sachant le nombre de dégrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque dégré, on aura la longueur du chemin. Mais si l'on vouloit aller de ce même lieu à l'équateur, par le plus court chemin, il faudroit suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de dégrés, on comptant 15 milles par chaque, donneroit la longueur du chemin.

On se contente d'exprimer ces chemins par dégrés, puisqu'il est si aisé de les réduire en milles d'Allemagne, & que d'autres nations se servent de milles plus grands ou plus petits. Ainsi, prenant la ville de Berlin pour le lieu L, on trouve que l'arc LM qui conduit à l'équateur, contient 52 dégrés & demi; par conséquent pour aller de Berlin à l'équateur, le plus court chemin est de 787 milles & demi. Mais si l'on vouloit aller de Berlin au pole boréal ou septentrional B, il faudroit suivre la route de l'arc BL, qui contenant 37 dégrés & demi, fera 562 milles & demi. Ces deux chemins donnent ensemble 1350 milles pour la longueur de l'arc BLM, qui est un quart de cercle de

90 dégrés, dont la valeur eſt, comme nous avons vu, de 1350 milles d'Allèmagne.

le 22 *Août* 1761.

LETTRE CLVII.

Je commence encore par la même figure, *Tab. I. fig.* 3. qui ſera déja bien familiére à V. A. Le cercle entier repréſente le globe de la terre; les points A & B, ſes deux poles; B le pole boréal, ſeptentrional ou arctique; A le pole auſtral, méridional, ou antarctique; deſorte que la ligne droite B A tirée au-dedans de la terre & paſſant par ſon centre C ſoit l'axe de la terre. Enſuite DME eſt l'équateur qui la diviſe en deux hémiſphères, l'un D B E boréal & l'autre D A E méridional.

Conſidérons maintenant un lieu quelconque L & tirons ſon méridien BLMA, qui étant un demi-cercle, paſſe par ce lieu L & par les deux poles B & A. C'eſt donc le méridien du lieu L, partagé par l'équateur en M en deux parties égales faiſant deux quarts de cercle, dont chacun contient 90 dégrés. Enſuite je remarque que l'arc LM de ce méridien nous donne la diſtance du lieu L à l'équateur, & que l'arc L B exprime la diſtance du même lieu L au pole B.

Cela poſé, il eſt bon de remarquer que l'arc

LM, ou la distance de L à l'équateur est nommé la *latitude du lieu* L; desorte que la latitude d'un lieu sur la terre n'est autre chose que l'arc du méridien de ce lieu, qui est intercepté entre l'équateur & le lieu proposé; ou bien la latitude d'un lieu est la distance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette distance par dégrés, dont nous connoissons la valeur puisque chaque dégré contient 15 milles d'Allemagne.

V. A. comprend aisément, qu'il faut distinguer cette distance, selon que le lieu se trouve ou dans l'hémisphère boréal, ou dans l'hémisphère austral; dans le premier cas, si le lieu proposé est dans l'hémisphère boréal ou *septentrional*, on dit qu'il a une *latitude boréale;* mais s'il est dans l'hémisphère austral ou méridional, on dit que sa *latitude* est *méridionale*.

Ainsi, quand il est question de Berlin, on dit que sa latitude boréale est de 52 dégrés & 31 minutes; la latitude de Magdebourg est aussi *boréale* de 52 dégrés & 19 minutes. Mais celle de Batavia aux Indes orientales est *méridionale* de 6 dégrés 15 minutes; & celle du Cap de bonne espérance en Afrique est aussi *méridionale* de 34 dégrés 15 minutes.

Je remarque ici en passant, que pour abréger, au lieu du mot *dégré* on met un petit zéro (^{o}) au-dessus du nombre, & au lieu du mot *minute* une petite barre ($'$), & s'il y a des *secondes*, on en met ($''$); c'est ainsi que la latitude de Paris à l'observatoire est $48^{o}\ 50'.\ 10''$ B. ce qui veut dire 48 dégrés, 50 minutes & 10 se-

condes boréales. Il y a au Pérou un endroit nommé Vlo, dont on a trouvé la latitude de 17°. 36′. 15″ M. ou bien 17 dégrés 36 minutes & 15 ſecondes méridionales. D'où V. A. comprend, que ſi l'on parloit d'un lieu, dont la latitude fût 0°. 0′. 0″. ce lieu ſeroit préciſément ſous l'équateur, puiſque ſa diſtance de l'équateur eſt zéro ou nulle; & il n'eſt pas néceſſaire d'y ajouter la lettre B, ou M. Mais ſi l'on parvenoit à un lieu, dont la latitude fut 90° B, ce lieu ſeroit préciſément le pole boréal même de la terre, qui eſt éloigné de l'équateur d'un quart de cercle ou de 90 dégrés. V. A. entendra parfaitement à préſent, ce que c'eſt que la latitude d'un lieu, & pourquoi on l'exprime par dégrés, minutes & ſecondes.

Il eſt très important de connoître la latitude de chaque lieu, non-ſeulement pour aſſigner à chacun ſa vraie place ſur les cartes géographiques, mais parce que c'eſt d'elle que dépendent les ſaiſons de l'année, l'inégalité des jours & des nuits, & par conſéquent la température des lieux. Il n'y a prèſque point de variation dans les ſaiſons pour les endroits ſitués ſous l'équateur même, & pendant toute l'année les jours & les nuits y ſont de même durée, ſavoir de 12 heures; c'eſt pourquoi l'équateur eſt auſſi nommé la ligne équinoctiale; mais plus on s'éloigne de l'équateur, plus la diférence entre les ſaiſons de l'année devient marquée, & plus auſſi les jours ſur-

paſſent les nuits en été, & réciproquement, en hyver, les jours ſont plus courts que les nuits.

V. A. ſait que les plus longs jours ſont au commencement de l'été vers le 12 de Juin: conſéquemment les nuits ſont alors les plus courtes; au commencement de l'hyver au contraire, vers le 23 de Décembre, les jours ſont les plus courts & les nuits les plus longues: de maniére que, par-tout, le plus long jour eſt égal à la plus longue nuit. Or en chaque lieu, la durée du plus long jour dépend de la latitude du lieu. Le plus long jour à Berlin eſt de 16 heures 38 minutes, & par conſéquent le plus court en hyver eſt de 7 heures 22 minutes. Aux endroits plus près de l'équateur, ou dont la latitude eſt moindre que celle de Berlin, qui eſt 52°. 32′, le plus long jour en été a moins de 16 heures 38 minutes, & en hyver le jour le plus court a plus de 7 heures 22 minutes. Il arrive le contraire aux endroits plus éloignés de l'équateur; à Petersbourg, par éxemple, dont la latitude eſt 60 dégrés, le plus long jour eſt de 18 heures 30 minutes & par conſéquent la nuit n'eſt alors que de 5 heures 30 minutes; en hyver au contraire la nuit la plus longue y eſt de 18 heures 30 minutes & le jour n'eſt alors que de 5 heures 30 minutes. Si l'on s'éloigne encore davantage de l'équateur, & qu'on parvienne à un lieu dont la latitude ſoit de 66°. 30′, le plus long jour y eſt préciſément de 24 heures, ou bien le ſoleil ne s'y couche

pas alors; tandis qu'en hyver le contraire arrive, le soleil ne s'y levant point du tout le 23 Décembre, & la nuit durant alors 24 heures. Or dans les lieux encore plus éloignés de l'équateur & conséquemment plus proches du pole, comme Warthuys dans la Laponie suédoise, ce plus long jour de 24 heures y dure plusieurs jours de suite, pendant lesquels le soleil ne se couche absolument pas; & la plus longue nuit, où le soleil ne se lève pas du tout, est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pole même, nous y aurions du jour pendant six mois de suite, & pendant les six autres une nuit continuelle. V. A. doit en conclurre combien il est important de bien connoître la latitude de tous les lieux de la terre.

le 22 Août 1761.

LETTRE CLVIII.

AYANT eu l'honneur de dire à V. A. que pour trouver le méridien d'un lieu proposé L, il faut tirer sur la surface de la terre un demi-cercle BLMA, qui passe par les deux poles B & A, & par le lieu proposé L; je remarque *Tab. I. fig.* 4. qu'il y a une infinité d'autres endroits par lesquels ce même méridien passe, & qui par conséquent sont

dits tous ſitués ſous le même méridien, ſoit dans l'hémiſphére boréal entre B & M, ſoit dans l'hémiſphère méridional ou auſtral entre M & A.

Or tous les lieux ſitués ſous un même méridien diférent en latitude, les uns étant plus proches ou plus éloignés de l'équateur que les autres. C'eſt ainſi que le méridien de Berlin paſſe par la ville de Meiſſe, à-peu-près par le port de Trieſte, & par quantité d'autres lieux moins remarquables.

V. A. voit auſſi que bien des lieux peuvent avoir la même latitude, ou être également éloignés de l'équateur, mais qu'ils ſont tous ſitués ſous des méridiens diférens. En effet, ſi L eſt la ville de Berlin, dont la latitude ou l'arc L M contient 52°. 31′, on peut aſſigner ſous tout autre méridien B N A, un lieu I, dont la latitude ou l'arc I N eſt auſſi 52°. 31′; ces lieux ſont auſſi les points F & G pris dans les méridiens B D A & B E A. Comme donc on peut tirer par chaque point de l'équateur un méridien, dans lequel il y aura un endroit dont la latitude ſera la même que celle de Berlin ou du lieu L, on aura une infinité de lieux, qui auront tous la même latitude. Ils ſeront tous ſitués dans un cercle F L I G, dont les points étant tous également éloignés de l'équateur, il eſt nommé *cercle parallele* à l'équateur, ou ſimplement un *parallele.* Un parallele ſur la terre n'eſt donc autre choſe qu'un cercle parallele à l'équateur,

ou dont tous les points en ſont également éloignés; d'où il eſt clair que tous les points d'un parallele ſont auſſi également éloignés des poles de la terre.

Comme on peut tirer dans chaque lieu de la terre un tel parallele, on peut en concevoir une infinité, qui diférent tous entr'eux par rapport à la latitude, chacun aiant une latitude, ſoit boréale, ſoit auſtrale, qui lui eſt propre.

V. A. comprend auſſi que plus la latitude eſt grande, ou plus on approche de l'un des poles, plus les paralleles deviennent petits, juſqu'à ce qu'enfin aux poles mêmes, où la latitude eſt de 90°, ces paralleles ſe réuniſſent dans un ſeul point. Mais, au contraire, plus on approche de l'équateur, ou plus la latitude eſt petite, plus auſſi les paralleles ſont grands, & ils ſe confondent enfin avec l'équateur même, lorſque la latitude eſt zero ou nulle. C'eſt auſſi par la latitude qu'on les diſtingue, ainſi le parallele de 30 dégrés eſt celui qui paſſe par tous les lieux dont la latitude eſt de 30 dégrés, où l'on doit pourtant s'expliquer, ſi l'on parle d'une latitude boréale, ou d'une latitude méridionale.

En conſultant les cartes géographiques, V. A. verra qu'Hanovre eſt ſitué ſous le même parallele que Berlin, la latitude de l'un & de l'autre étant 50° 31′, & que les villes de Brunswig & d'Amſterdam tombent prèſque ſous le même parallele; mais que les méridiens qui

qui passent par ces endroits sont diférens. Or connoissant le méridien & le parallele sous lequel un lieu est situé, on en sait la véritable place sur la terre. Si l'on nous disoit par éxemple qu'un certain endroit est situé sous le méridien BNA & sous le parallele FLG, on n'auroit qu'à voir où le méridien BNA est coupé par le parallele FLG, & l'intersection I donnera la véritable place de l'endroit proposé.

C'est de ce moyen dont se servent les géographes pour déterminer la véritable position de tous les endroits de la terre. Il ne s'agit que d'en connoître le parallele, ou la latitude, & le méridien qui lui répond. Pour le parallele, il est aisé de le marquer & de le distinguer de tous les autres ; on n'a qu'à indiquer la latitude ou la distance de l'équateur qui sera boréale ou méridionale : mais comment pourra-t-on décrire un méridien & le distinguer de tous les autres? Ils se ressemblent parfaitement, ils sont tous égaux entr'eux, & aucun ne porte une marque essentielle préférablement aux autres. Il dépend donc uniquement de notre bon plaisir de choisir un certain méridien & de le fixer, pour en déduire tous les autres. Si, par éxemple, dans la figure mise au commencement de cette lettre, on choisissoit le méridien BDA, il seroit aisé de nous donner une description de tout autre méridien comme BMA, on n'auroit qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc DM,

compris entre le méridien fixe B D A & celui dont il eſt queſtion B M A, pourvû qu'on ajoute en quel ſens on doit partir du méridien fixe, pour paſſer à l'autre, ſi c'eſt vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte tous les autres, *le premier méridien*, & puiſque le choix de ce premier méridien dépend de notre bon plaiſir, V. A. ne ſera pas ſurpriſe, ſi les diverſes nations ne ſont pas d'accord là-deſſus. Les François ont choiſi pour cet effet l'Isle de Fer qui eſt une des Canaries, & c'eſt de cette isle qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands & les Hollandois font paſſer le leur par une autre isle des Canaries, nommée Téneriffe. Mais ſoit qu'on ſuive les François ou les Allemands, il faut toujours bien marquer ſur l'équateur le point par lequel paſſe le premier méridien, & de ce point on compte enſuite par dégrés, les points par leſquels paſſent tous les autres méridiens, & tant les François que les Allemands ſont d'accord de compter de l'occident vers l'orient.

Si donc le demi-cercle B D A étoit dans notre figure le premier méridien, & que les points de l'équateur M & N fuſſent ſitués vers l'orient, on n'a, pour marquer tout autre méridien B M A, qu'à indiquer la grandeur de l'arc D M, & cet arc eſt ce qu'on nomme la *longitude* de tous les lieux ſitués ſous le méridien B M A. S'il étoit queſtion des lieux

ſitués ſous le méridien B N A, leur longitude ſeroit l'arc de l'équateur D N exprimé en dégrés, minutes & ſecondes.

le 29 Août 1761.

LETTRE CLIX.

V. A. eſt bien inſtruite à préſent, ſur ce qu'on nomme la latitude & la longitude d'un lieu ſur la terre. La latitude ſe compte ſur le méridien du lieu propoſé juſqu'à l'équateur, ou bien elle eſt la diſtance du parallele qui paſſe par le lieu propoſé à l'équateur, à quoi, pour ôter toute ambiguité, il faut ajouter ſi cette diſtance ſoit latitude eſt boréale ou méridionale.

Pour la longitude, il faut voir combien le méridien du lieu propoſé eſt éloigné du premier méridien, & on compte cet éloignement ſur l'équateur, depuis le premier méridien juſqu'au méridien propoſé, en allant toujours de l'occident à l'orient; ou bien la longitude eſt la diſtance du méridien du lieu propoſé depuis le premier, en comptant les dégrés ſur l'équateur, comme je viens de le dire.

On compte donc toujours du premier méridien vers l'orient, & V. A. comprend que quand on aura compté juſqu'à 360 dégrés, on retournera préciſément au premier méri-

dien, puisque 360 dégrés achèvent toute la circonférence de l'équateur : ainsi, quand on parle d'un endroit dont la longitude seroit 359 dégrés, le méridien de cet endroit ne sera éloigné du premier méridien que d'un dégré, mais vers l'ouest ou l'occident ; de même 350° de longitude conviennent avec une distance de 10° vers l'ouest ou l'occident. C'est donc pour éviter toute ambiguité, que, dans la détermination des longitudes, on continue de compter jusqu'à 360° vers l'orient.

V. A. sera sans-doute curieuse de savoir pourquoi les géographes se sont accordés d'établir le premier méridien par quelqu'une des isles Canaries ? J'ai l'honneur de lui répondre, qu'on a voulu se règler sur les limites de l'Europe vers l'occident, & que comme on regarde les isles Canaries, (situées dans la mer Atlantique au-delà de l'Espagne vers l'Amérique,) comme faisant encore partie de l'Europe, on a jugé à propos de faire passer le premier méridien par la plus réculée des isles Canaries, afin qu'on puisse compter les autres méridiens sans interruption, non-seulement par toute l'Europe, mais par toute l'Asie : d'où, continuant de compter vers l'orient, on parvient en Amérique, & de-là on retourne enfin au premier méridien.

Mais à quelle de ces isles Canaries donner la préférence ? Quelques géographes François ont choisi l'isle de Fer, & les Allemands celle de Ténériffe, parce qu'on n'étoit pas

aſſez ſûr alors de la véritable ſituation de ces isles, & qu'on ne ſavoit peut-être pas laquelle étoit plus réculée; d'ailleurs les Allemands ont crû que la montagne nommée Pic de Téné-riffe, étoit pour ainſi dire, marquée par la nature pour y faire paſſer le premier méridien.

Quoiqu'il en ſoit, il eſt prèſque ridicule de faire paſſer le premier méridien par un endroit dont la ſituation n'eſt pas bien connue; car ce n'eſt que depuis peu de tems, qu'on a mieux déterminé la poſition des Canaries. En con-ſéquence, les aſtronomes qui employent le plus d'éxactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien, de façon que celui de l'ob-ſervatoire de Paris en ſoit préciſément éloigné de 29 dégrés, ſans ſe ſoucier par quel endroit paſſe alors le premier; c'eſt ſans-doute le plus ſûr parti qu'on puiſſe prendre; & pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen eſt d'en chercher l'éloignement de ce-lui de Paris; alors ſi cet autre méridien eſt plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 dégrés pour avoir la longitude des lieux qui y ſont ſitués; mais ſi ce méridien eſt plus vers l'occident que celui de Paris, on ſouſtrait leur diſtance de 20 dégrés; enfin ſi cette diſtance vers l'occident eſt de plus de 20 dégrés, on la ſouſtrait de 380 dégrés, ſoit de 20 dégrés au-delà des 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainſi le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de 11°. 7', 15",

la longitude de Berlin ſera 31°. 7′, 15″; & c'eſt auſſi la longitude de tous les autres lieux qui ſont ſitués ſous le même méridien que Berlin.

De même le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 dégrés que celui de Paris; la longitude de Pétersbourg ſera 48°.

Le méridien de Londres à St. James eſt plus vers l'occident que celui de Paris de 2°. 25′. 15″; donc en ôtant cette quantité de 20°, le reſte 17°. 34′. 45″ donne la longitude de Londres à St. James.

Conſidérons auſſi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien eſt éloigné de celui de Paris de 70°. 9′. 30″ vers l'occident, qu'il faut par conſéquent ſouſtraire de 380°; & l'on trouvera la longitude de Lima 309°. 50′. 30″.

Or quand on connoît la latitude & la longitude d'un endroit, on eſt en état de marquer ſon vrai lieu ſur le globe terreſtre, ou ſur une carte géographique; car comme la latitude marque le parallele, ſous lequel l'endroit eſt ſitué, & que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallele coupe le méridien, ſera éxactement le lieu propoſé.

V. A. n'a qu'à jetter les yeux ſur une carte géographique; par exemple, ſur celle de l'Europe; elle verra les dégrés des paralleles marqués des deux côtés, ou leurs diſtances de l'équateur, &, en haut & en bas,

les dégrés de longitude ſoit les éloignemens des méridiens du premier méridien.

On trace ordinairement ſur les cartes les paralleles & les méridiens, de dégré en dégré, ou ſeulement de 5 en 5 dégrés. Dans la plûpart des cartes, les méridiens ſont tirés de haut en bas, & les paralleles de gauche à droite; le haut eſt dirigé vers le Nord; le bas vers le Sud, ou le midi: le côté droit vers l'orient ou l'Eſt; & le côté gauche vers l'occident ſoit l'Oueſt.

Il faut auſſi remarquer que, puiſque tous les méridiens concourent dans les deux poles, plus deux méridiens approchent d'un pole, plus leur diſtance ſera petite; c'eſt toujours ſous l'équateur, où la diſtance entre deux méridiens eſt plus grande. Auſſi, ſur toutes les bonnes cartes où les méridiens ſont tracés, V. A. verra qu'ils s'aprochent toujours vers le haut, le Nord, & que leurs diſtances deviennent plus grandes en s'approchant de l'équateur: ce qui ſert à une meilleure intelligence des cartes géographiques, par leſquelles on a táché de nous répréſenter la ſurface ou une partie de la ſurface du globe.

Mais mon but principal eſt de démontrer comment la véritable poſition de chaque lieu de la terre eſt déterminée par ſa latitude & ſa longitude.

le 1 *Septembre* 1761

LETTRE CLX.

Puis qu'il eſt ſi important de connoître la latitude & la longitude de chaque lieu, pour ſavoir à quel point on ſe trouve ſur la ſurface de la terre, V. A. jugera aiſément qu'il l'eſt tout autant de découvrir les moyens propres à nous y conduire.

Il n'y a rien de plus intéreſſant pour un homme qui arrive après un long voyage dans un endroit, ſur terre, ou ſur mer, que d'apprendre en quel lieu de la terre il ſe trouve alors; s'il eſt proche de quelque pays connû, ou non, & quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le ſeul moyen de tirer cet homme d'embarras, ſera ſans-doute de lui découvrir la latitude & la longitude du lieu où il eſt: mais que fera-t-il pour parvenir à cette découverte? Suppoſons le ſur mer, ou dans quelque vaſte déſert, où il ne peut conſulter aucun habitant. Après s'être aſſûré au moyen d'un globe terreſtre ou des cartes géographiques de la latitude & de la longitude du lieu où il eſt, il y remarquera aiſément le point de ſa demeure, & ſera en état de tirer tous les éclairciſſemens dont il a beſoin.

Je démontrerai à V. A. que c'eſt l'aſtronomie, qui nous fournit principalement les moyens de connoître la latitude & la longitude du lieu où nous nous trouvons; mais pour

ne pas ennuyer V. A. par le long détail de toutes les méthodes que les aſtronomes ont découvertes pour cet objet important, je me contenterai de lui en préſenter une idée générale, & j'oſe me flatter qu'elle ſera ſuffiſante pour faire comprendre à V. A. les principes ſur leſquels toutes les méthodes ſont fondées.

Je fais d'abord la recherche de la latitude, qui n'eſt prèſque aſſujettie à aucune difficulté, tandis que celle de la longitude ſemble ſurpaſſer encore la portée de l'eſprit humain, ſur-tout lorſqu'on ſe trouve en mer & qu'on exige la derniére préciſion : c'eſt pourquoi l'on a mis, ſur ſa recherche, des prix très-conſidérables, pour encourager davantage les ſavans à réunir leur capacité & leurs travaux, pour une découverte auſſi importante, qui devient doublement intéreſſante par l'honneur & par le gain qu'elle procurera à l'inventeur.

Je reviens à la latitude & aux moyens de la découvrir, renvoyant à un autre tems de parler plus amplement de la longitude & des diférentes méthodes de la découvrir, ſur-tout en mer.

Que dans la *fig.* 5. *Tab. I.* les points B & A ſoient les poles de la terre; B A ſon axe & C ſon centre; que le demi-cercle B D A repréſente un méridien, coupé par l'équateur au point D, & BD, AD ſeront des quarts de cercle ou des arcs de 90 dégrés. La ligne droite CD ſera donc un rayon de l'équateur & D E ſon diamètre.

Soit maintenant dans ce méridien BDA, le point L, le lieu proposé dont il faut chercher la latitude, ou bien le nombre de dégrés que contient l'arc LD, qui mesure la distance du point L à l'équateur; ou encore, tirant le rayon CL, puisque l'arc CD est la mesure de l'angle DCL que je nommerai *y*, cet angle *y* exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or comme il ne nous est pas permis d'entrer au centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au pole boréal du ciel P, qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC, qui aboutira dans le ciel au point Z qu'on nomme le zénith du lieu; ensuite tirant par L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL, V. A. se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle & qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu E: notre horizon touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L vers le pole du ciel P, lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée, sera parallele à la ligne ABP, ou à l'axe de la terre; ce pole du ciel paroîtra donc entre le zénith & l'horizon LT & l'angle TLQ indiqué par la lettre *m* montrera combien la droite LQ dirigée au pole, est élevée au-dessus de l'horizon; d'où cet angle *m* est nommé *l'élévation du pole.*

V. A. a déja sans-doute assez souvent enten-

du parler de l'élévation du pole, qu'on nomme auſſi la *hauteur du pole*, & qui n'eſt autre choſe que l'angle que la ligne droite LQ, dirigée vers le pole du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous ſommes. V. A. comprend aiſément la poſſibilité d'obſerver cet angle *m* par le moyen d'un inſtrument aſtronomique, ſans que j'aie beſoin d'entrer dans un plus grand détail là-deſſus.

Quand on aura meſuré cet angle *m*, ſoit la hauteur du pole, il nous donnera préciſément la latitude du lieu L, ou bien l'angle *y*. Pour cet effet il ne faut que faire voir que ces deux angles *m* & *y* ſont égaux.

Or la ligne LQ étant parallele à CP, les angles *m* & *n* ſont alternes, & conſéquemment égaux. Et la ligne LT étant perpendiculaire au rayon CL, l'angle L du triangle CLT ſera droit, & les deux autres angles *n* & *x* du même triangle feront auſſi un angle droit. Mais puiſque l'arc BD eſt un quart de cercle, l'angle BCD ſera auſſi droit, les deux angles *x* & *y* font donc autant, étant ajoutés enſemble, que les deux angles *n* & *x*. Otons de part & d'autre l'angle *x*, alors l'angle *y* ſera égal à l'angle *n*, & par conſéquent auſſi à l'angle *m*.

J'ai déja fait remarquer, que l'angle *y* exprime la latitude du lieu L, & l'angle L, l'élévation ou la hauteur du pole au même endroit L; donc la latitude d'un endroit eſt toujours égale à la hauteur du pole à ce même endroit. Les moyens que l'aſtronomie nous fournit, pour

obſerver la hauteur du pole, nous donnent donc la latitude que nous cherchons.

C'eſt ainſi que les obſervations aſtronomiques faites à Berlin, nous ont appris, que la hauteur du pole y eſt 52° 31′, & nous en avons conclu que la latitude y eſt auſſi 52° 31′.

C'eſt un éxemple bien remarquable, comment le ciel peut nous éclaircir ſur des choſes qui ne ſont rélatives qu'à la terre.

le 5 Septembre 1761.

LETTRE CLXI.

Je paſſe maintenant à la longitude, & je remarque, qu'en partant par mer ou par terre d'un lieu connu, on pourra trouver aiſément la longitude du lieu où l'on ſera parvenu, ſi l'on connoît éxactement la longueur du chemin & la route qu'on a tenue; elle peut même ſe trouver alors ſans le ſecours de l'aſtronomie, & cela mérite bien que je m'explique plus diſtinctement à V. A.

On meſure la longueur du chemin par pieds, on ſait combien de pieds il faut pour un mille, & combien de milles pour un arc d'un dégré de la terre: c'eſt ainſi qu'on pourra exprimer par dégrés le chemin qu'on aura fait.

Pour la route ou la direction du chemin, il faut bien connoître la poſition du méridien à

chaque lieu où l'on ſe trouve. Comme le méridien va d'un côté au pole boréal, ou vers le nord, & de l'autre au pole méridional, ou vers le ſud; on n'a qu'à tirer ſur l'horizon où l'on ſe trouve, une ligne droite du nord vers le ſud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut ſe donner toutes les peines poſſibles pour tracer bien éxactement cette ligne méridienne, & c'eſt où le ciel doit encore nous ſervir de guide.

V. A. ſait qu'il eſt midi, quand le ſoleil ſe trouve le plus élevé au-deſſus de l'horizon; or c'eſt alors que le ſoleil ſe trouve préciſément vers le ſud, & l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement ſur un plan horizontal, tombera à l'inſtant préciſément vers le nord; d'où il eſt aiſé de comprendre, comment les obſervations du ſoleil nous fourniſſent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes ſont aiſément déterminées.

Soit dans la figure ci-jointe, *Tab. I. fig. 6.* la ligne droite NS la méridienne, l'éxtrèmité N étant dirigée vers le nord & le bout S vers le ſud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OW, dont l'extrèmité O ſera dirigée vers l'orient, qu'on nomme *oſt* en allemand, & l'autre extrèmité W vers l'occident, qu'on nomme *weſt*. Après avoir diviſé le cercle en ſeize parties égales, on au-

ra autant de directions nommées par les lettres y-jointes, & en cas qu'on ſuive une route qui ne convienne pas éxactement avec une de ces ſeize, on marque l'angle qu'elle fait avec la méridienne N S, ou avec la ligne O W qui lui eſt perpendiculaire.

C'eſt par ce moyen qu'on pourra connoître éxactement la route qu'on tient en voyageant; & toutes les fois qu'on eſt bien aſſuré de la longueur du chemin, & de la route qu'on aura ſuivie, il eſt fort aiſé de déterminer le vrai lieu ou l'on ſera parvenu, & d'en aſſigner même tant la latitude que la longitude. On ſe ſert pour cela d'une bonne carte géographique qui contienne le lieu d'où l'on eſt parti, & celui où l'on eſt arrivé; & moyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un mille, on pourra tirer ſur cette carte le chemin qu'on aura parcouru.

La figure ci-jointe *Tab. I. fig.* 7. repréſente une carte où ſont marqués par dégrés les paralleles de gauche à droite & les méridiens de haut en bas, & l'on y voit auſſi, que les méridiens ſont plus proches les uns des autres en haut vers le nord, qu'en bas vers le ſud; comme cela eſt ſur la terre.

Cette carte renferme une partie de la ſurface de la terre depuis 53 dégrés de latitude boréale, juſqu'au 59^{e} dégré; & depuis 13 dégrés de longitude juſqu'au 26^{e} dégré.

Suppoſons donc qu'on ſoit parti du lieu L, dont la longitude eſt 16° & la latitude 57° 20′ & qu'on ait tenu la route O S O ſur laquelle

on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude & la latitude du lieu où l'on ſera parvenu, on tire du lieu L la ligne droite LM, qui faſſe avec le méridien 16, 16, le même angle que fait dans la figure précédente la direction OSO avec N. Enſuite, ſur cette ligne, qu'on prenne ſelon l'échelle marquée dans la carte LM de 75 milles d'Allemagne, & le point M ſera le lieu ou l'on ſera parvenu.

On n'a puis qu'à comparer ce lieu avec les méridiens & les paralleles tracés ſur la carte, & l'on verra que ſa longitude tombe très-près du 24e dégré, & en meſurant plus éxactement la partie du dégré à ajouter au 24e dégré, on trouvera la longitude du point M de 24° 4′. Pour la latitude, on voit qu'elle ſe trouve entre le 55e & 56e dégré, & on l'eſtimera aiſément de 55° 25′; deſorte que du lieu M, où l'on eſt parvenu, la latitude eſt 55° 25′ & la longitude 24° 4′.

J'ai ſuppoſé ici qu'on a ſuivi pendant tout le voyage la même route, marquée OSO; mais ſi l'on changeoit de route de tems en tems, on n'auroit qu'à faire pour chaque changement la même opération, pour trouver le lieu où l'on a été alors, & enſuite, de ce lieu, on tracera la route ſuivante, juſqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau, & ainſi de ſuite, juſqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen on ſera toujours en état dans les voyages de connoître les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on

ſache toujours éxactement la route qu'on tient, & qu'on meſure auſſi éxactement le chemin qu'on parcourt.

On pourroit même ſe paſſer alors des ſecours de l'aſtronomie, à moins qu'on n'en eut beſoin pour connoître au juſte la route, ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la bouſſole peut ſouvent ſuppléer à ce beſoin.

V. A. ſent cependant bien, qu'on peut ſe tromper conſidérablement dans l'eſtime de la route & de la longueur du chemin, ſur-tout dans de fort longs voyages. Combien de fois ne faut-il pas changer de route d'ici à Magdebourg ſeulement? & comment meſurer éxactement la longueur du chemin? Mais quand le voyage ſe fait par terre, on n'eſt pas réduit à cet expédient; on eſt en état de meſurer par des opérations géométriques les diſtances des lieux, & les angles que les diſtances font avec la méridienne de chaque endroit; & c'eſt par ce moyen qu'on détermine aſſez éxactement la véritable ſituation de tous les lieux.

le 8 Septembre 1761.

LETTRE CLXII.

La méthode d'obſerver la route qu'on tient, & la longueur du chemin parcouru, ſemble être d'un très-grand ſecours dans les voyages par

par mer, parcequ'on n'y eſt pas obligé de changer de route à tout moment, comme quand on voyage par terre; car tant qu'on a le même vent, on peut pourſuivre la même route.

Auſſi les pilotes qui dirigent les vaiſſeaux, ſont-ils très-attentifs à obſerver éxactement la route que tient le vaiſſeau, & à meſurer le chemin qu'il parcourt; ils tiennent un journal éxact de toutes ces obſervations, & à la fin de chaque jour, & plus ſouvent encore, ils tracent ſur leurs cartes marines le chemin qu'ils ont parcouru, & ſont en état par ce moyen de marquer ſur les cartes pour chaque tems, le point où ils ſe trouvent, & dont ils connoiſſent par conſéquent la latitude & la longitude. Auſſi tant que le cours ſe fait réguliérement, & que le vaiſſeau n'eſt pas agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent guères: mais quand ils ſont en doute, ils ont recours aux obſervations aſtronomiques, d'où ils tirent la hauteur du pole, qui étant toujours égale à la latitude du lieu où ils ſe trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée ſur la carte, conformément à l'eſtime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, leur eſtime eſt juſte; s'ils découvrent quelque diférence, ils en concluent avec certitude qu'ils ſe ſont trompés dans l'eſtime du chemin & de la route; ils éxaminent alors l'un & l'autre plus ſoigneuſement, & tâchent d'y apporter les corrections néceſſaires, pour accorder l'eſtime avec l'obſervation de la hauteur du pole, ou de la latitude qui lui eſt égale.

Cette précaution peut être ſuffiſante dans de petits voyages, parceque les erreurs qu'on y commet n'y ſont prèſque d'aucune conſéquence, mais dans des voyages de long cours, ces petites erreurs peuvent s'accumuler au point, qu'à la fin, on ſe trompe très-groſſiérement, de maniére que le lieu où l'on ſe trouve effectivement difère conſidérablement de celui où l'on s'imagine ſe trouver ſur la carte.

J'ai ſuppoſé juſqu'ici que le voyage ſe fait aſſez paiſiblement: mais s'il ſurvient une tempête, pendant laquelle le vaiſſeau eſt aſſujetti aux plus fortes ſecouſſes du vent & des flots; il eſt bien clair que l'eſtime de la longueur du chemin & de la route eſt entiérement dérangée, & qu'il n'eſt plus poſſible de tracer ſur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourroit bien déterminer par des obſervations aſtronomiques, après ce dérangement, la latitude du lieu où l'on ſe trouve, mais cela ne découvriroit que le parallele de ce lieu, & on reſteroit toujours très-incertain ſur le point de ce parallele qui répond au lieu du vaiſſeau.

Il faut donc reconnoître auſſi la longitude du lieu, qui nous montre le méridien ſous lequel il eſt ſitué: & alors l'interſection de ce méridien avec le parallele trouvé, donnera le véritable endroit du vaiſſeau. V. A. comprend par-là, combien il eſt important de mettre les pilotes en état de découvrir auſſi la longitude du lieu où ils ſe trouvent.

Ce ne ſont pas ſeulement les tempêtes qui

mettent dans cette néceſſité; car on peut, le voyage ſe faiſant paiſiblement, ſe tromper très-groſſiérement dans l'eſtime tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvoit ſuppoſer que la mer fut en repos, on auroit bien des moyens de s'en aſſurer aſſez éxactement, quoique cela pourroit cauſer des aberrations très-conſidérables dans des voyages de long cours. Mais la mer a en pluſieurs endroits des courans rapides, deſorte qu'elle reſſemble à une riviére qui court ſuivant une certaine direction. C'eſt ainſi qu'on a obſervé que la mer atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la méditerranée; & que le grand océan atlantique, entre l'Afrique & l'Amérique, a un courant très-conſidérable de l'orient vers l'occident, tellement qu'on va beaucoup plus vite de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courans étoient conſtans & connus, ce ſeroit un grand ſecours pour règler notre eſtime; mais on a obſervé qu'ils ſont tantôt plus, tantôt moins rapides, & qu'ils changent ſouvent de direction; ce qui dérange tellement l'eſtime des plus habiles pilotes, qu'on ne ſauroit plus s'y fier ſans s'expoſer au plus grand danger. On n'a que trop d'éxemples, que des vaiſſeaux croyoient être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés ſous la mer, lorſqu'ils y ſont échoués & péris. On s'eſt apperçu après, que les courans de la mer avoient

causé ces malheurs, parceque l'estime des pilotes en avoit été dérangée.

En effet, lorsque la mer a un mouvement qui la fait couler comme une riviére, suivant une certaine direction, les vaisseaux qui s'y trouvent, sont emportés sans s'en appercevoir. On s'apperçoit aisément qu'on est emporté par une riviére en regardant le rivage, ou le fonds: mais en mer on ne voit aucune terre, & la profondeur est trop grande pour voir le fonds. On ne peut donc pas s'appercevoir sur mer si l'on est emporté, & c'est pourquoi l'on se trompe très-grossiérement, tant par la route, que pour la longueur du chemin. Qu'on ait donc égard ou non aux tempêtes, on est toujours obligé de chercher d'autres moyens, pour déterminer la longitude des lieux où l'on arrive; & c'est des divers moyens proposés jusqu'ici pour parvenir à cette connoissance de la longitude, que j'aurai l'honneur d'entretenir V. A.

le 12 Septembre 1761.

LETTRE CLXIII.

Un moyen très-sûr de trouver la longitude, seroit une horloge, une montre, ou une pendule si parfaite, c'est-à-dire, qui marchât toujours si également & si éxactement, qu'aucune secousse ne fut capable d'en altérer le mouvement.

Suppoſé qu'on fut parvenu à éxécuter une telle horloge, voyons comment, par ſon moyen, on ſeroit en état de réſoudre le problême des longitudes. Il faut pour cela retourner à la conſidération des méridiens, qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

V. A. ſait, que le ſoleil fait tous les jours un tour autour de la terre, & qu'il paſſe par conſéquent ſucceſſivement au-deſſus de tous les méridiens, dans le tems de vingt-quatre heures.

Or *Tab. I. fig.* 8. on dit que le ſoleil paſſe *au-deſſus* ou *par* un certain méridien, ſi la ligne droite tirée du ſoleil au centre de la terre C paſſe préciſément par ce méridien. Si donc, à préſent, la ligne tirée du ſoleil au centre de la terre paſſoit par le méridien BLMA, on diroit que le ſoleil paſſe par ce méridien, & alors il ſeroit midi en tous les lieux ſitués ſous ce méridien: mais ſous tout autre, il ne ſeroit pas midi dans ce même moment; ce ſeroit donc avant ou après.

Si le méridien BNA eſt ſitué plus vers l'orient que le méridien BMA: le ſoleil en faiſant ſon tour de l'orient à l'occident paſſera par le méridien BNA avant que de parvenir au méridien BMA, il ſera donc plutôt midi ſous le méridien BNA que ſous celui BMA; par conſéquent lorſqu'il ſera midi ſous ce dernier méridien, le midi ſera déja paſſé ſous tout autre ſitué vers l'orient, où il ſera déja après midi. Au contraire il ſera encore avant midi ſous tout méridien BDA ſitué

plus vers l'occident, parceque le ſoleil n'y parvient qu'après avoir déja paſſé par le méridien B M A.

Et comme le mouvement du ſoleil ſe fait uniformément, & qu'il achève le tour entier de la terre, c'eſt-à-dire 360 dégrés, en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 dégrés. Donc lorſqu'il eſt midi à Berlin, & à tout autre lieu ſitué ſous ce même méridien, le midi ſera déja paſſé ſous les méridiens ſitués plus vers l'orient; &, en particulier, ſous le méridien éloigné vers l'orient de 15 dégrés de celui de Berlin, il ſera déja une heure; ſous le méridien éloigné de 30 dégrés, deux heures; ſous celui éloigné de 45 dégrés, trois heures après midi, & ainſi de ſuite. Le contraire arrivera aux lieux ſitués ſous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin; & s'il eſt midi ici, il ne ſera que 11 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 15 dégrés; 10 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 30 dégrés; 9 heures avant midi ſous le méridien éloigné de 45 dégrés vers l'occident, & ainſi de ſuite; une diférence de 15 dégrés entre les méridiens, produiſant toujours une heure de diférence dans le tems.

Pour éclaircir mieux encore ce que nous venons de dire, conſidérons les villes de Berlin & de Paris: & puiſque le méridien de Berlin eſt de 11 dégrés 7 min. 15 ſec. plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 dégrés, cette diférence de 11 dégrés

7 min. 15 ſec. donnera 44 minutes & 29 ſecondes, ou à-peu-près trois quarts d'heures. Donc lorſqu'il eſt midi à Paris, il ſera déja à Berlin 44 min. 29 ſec. après midi, & réciproquement, lorſqu'il eſt midi à Berlin, il ſera 11 heures 15 min. 31 ſec. à Paris; deſorte que le midi n'y arrivera que 44 min. 29 ſec. après. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges à Berlin doivent être plus avancés qu'à Paris, & que cette diférence doit faire 44′ 29″.

La diférence entre les méridiens de Berlin & de Magdebourg eſt d'un dégré 14 min. dont Berlin eſt plus à l'orient que Magdebourg: cette diférence réduite en tems, donne 6 minutes 40 ſecondes, que les horloges de Berlin doivent marquer plus vite que ceux de Magdebourg. Par conſéquent s'il eſt midi à Magdebourg, & que les horloges, que je ſuppoſe bien règlées, y marquent XII heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même inſtant 12 heures 6 min. 40 ſec., deſorte qu'il y ſoit déja après midi.

V. A. voit par-là qu'à meſure que les lieux diférent en longitude, ou qu'ils ſont ſitués ſous des méridiens diférens, les horloges bien règlées y doivent auſſi marquer des heures diférentes au même inſtant, & que cette diférence doit être d'une heure entiére, lorſque celle en longitude eſt de 15 dégrés: chaque 15 dégrés en longitude produiſant une heure de tems, pour la diférence que des horloges

bien règlées doivent marquer dans ces diférens endroits au même moment.

Si l'on vouloit donc se servir d'une horloge pour trouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faudroit d'abord la bien régler en quelqu'endroit qu'on se trouve : ce règlement se fait sur l'observation de midi, qui est le moment, où le soleil passe par le méridien de ce lieu, & l'horloge doit montrer précisément alors XII heures. Elle doit être ensuite tellement ajustée que, toujours après vingt-quatre heures, lorsque le soleil retourne au méridien, l'indice, après avoir fait deux tours entiers, revienne éxactement sur XII heures : si cela est bien observé, de telles horloges bien règlées ne seront d'accord en diférens endroits, que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien ; mais s'ils sont situés sous des méridiens diférens, ou qu'il y ait une diférence entre leurs longitudes, les tems que les horloges marqueront au même moment seront aussi diférens ; ensorte qu'à chaque diférence de 15 dégrés en longitude, réponde une heure entiére de diférence dans les tems marqués par les horloges.

Connoissant donc cette diférence entre les tems que des horloges bien règlées marquent en diférens endroits, au même instant, on en conclura aisément la diférence qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 dégrés pour une heure, & un quart de dégré pour une minute.

le 15 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXIV.

V. A. ſera moins ſurpriſe de la diférence du tems que les horloges bien règlées doivent indiquer ſous diférens méridiens, quand elle réfléchira que lorſqu'il eſt midi chez nous, il y a des pays vers l'orient, où le ſoleil ſe couche déja, & que vers l'occident, il y en a où le ſoleil ne fait que ſe lever: il faut donc bien qu'il ſoit déja ſoir chez ceux-là & encore matin chez ceux-ci au même inſtant qu'il eſt midi chez nous. V. A. ſait d'ailleurs que chez nos antipodes, qui ſe trouvent ſous le méridien oppoſé au notre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous; deſorte que lorſqu'il eſt midi chez nous, il ſera minuit chez eux.

Il me ſera aiſé, après ces éclairciſſemens, de faire voir comment une bonne horloge peut ſervir à nous faire connoître la diférence des méridiens, ſoit la diférence en longitude de divers endroits.

Suppoſons que j'aie cette excellente horloge qui, une fois bien règlée, montre tous les jours éxactement le tems * juſte qu'il fait à Berlin, deſorte que toutes les fois qu'il eſt midi à Berlin, elle indique préciſément XII heures: ſuppoſons encore qu'elle marche ſi réguliérement, que je n'aye plus beſoin d'y toucher, après l'avoir règlée une fois, & que

* Il faut entendre le tems moyen, dont le rapport au tems vrai eſt connû par les tables aſtronomiques. L'auteur a crû devoir ſe diſpenſer de faire ici cette diſtinction, qui l'auroit mené dans des détails trop longs.

ſa marche ne ſoit point dérangée ſoit que je la mette dans une voiture, ſoit qu'elle ſoit à bord d'un vaiſſeau en pleine mer, expoſée à des ſecouſſes & à toutes ſortes d'agitations.

Que je faſſe maintenant avec cette horloge un voyage par terre ou par mer, parfaitement aſſûré que cette horloge conſerve toujours le même mouvement, comme ſi j'étois reſté à Berlin; elle me marquera chaque jour XII heures au même moment qu'il eſt midi à Berlin, & cela où que je me trouve. Dans ce voyage j'arrive d'abord à Magdebourg: j'y obſerve le ſoleil lorſqu'il paſſe par le méridien, ce qui arrive lorſqu'il ſe trouve éxactement vers le Sud; & puiſque dans ce moment il fait midi à Magdebourg, je regarde mon horloge & je m'apperçois qu'elle montre alors, 12 heures 6 min. 40 ſec. d'où je conclus, que quand il eſt midi à Magdebourg, il eſt déja après midi à Berlin & que la diférence eſt 6'. 40'' de tems, qui répondent à 1°. 40' dont le méridien de Magdebourg eſt plus vers l'occident que celui de Berlin. Puis donc que la longitude de Berlin eſt 31°. 7'. 15'', la longitude de Magdebourg ſera de 1°. 40' plus petite, ou bien elle ſera 29°. 27'. 15''.

Je vais de-là à Hambourg, avec mon horloge, à laquelle je ne touche point, & y obſervant le midi (car je ne me fierois pas aux horloges publiques, qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déja 12 heures 13'. 33'', deſorte qu'à Berlin il eſt

déja 13'. 33''. après midi, lorſqu'il eſt midi à Hambourg; & j'en conclus que le méridien de Hambourg eſt de 3°. 23'. 5'', plus vers l'occident que celui de Berlin: en comptant 15° pour une heure, & par conſéquent un dégré pour 4 minutes de tems, d'où l'on trouve que 13' 33'' de tems donnent 3°. 23'. 15'', pour la diférence des méridiens. La longitude de Hambourg ſera donc 27°. 44'.

A Hambourg je m'embarque ſur un vaiſſeau avec mon horloge, & ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes obſervations du ſoleil), je vois que mon horloge ne montre que 10°. 58'. 15''; deſorte qu'à Berlin il eſt encore avant midi dans ce moment, la diférence étant 1 heure 1', 45''; d'où je conclus, que le lieu où je ſuis arrivé, eſt plus vers l'orient que Berlin & puiſque 1 heure donne 15 dégrés, une minute de tems 15', & 45'' de tems 11'. 15'', la diférence des méridiens ſera 15°. 26'. 15''. Je me trouve donc dans un lieu ſitué plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude eſt de 15°. 26'. 15'', plus grande que celle de Berlin; laquelle étant 31°. 7'. 15'', la longitude au lieu où je me trouve ſera 46°. 33'. 30''. Ainſi je ſais ſous quel méridien je me trouve, mais je ſuis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet j'ai recours aux obſervations aſtronomiques, & je cherche la hauteur du pole que je trouve préciſément

de 41°. Sachant de plus que je ſuis encore dans l'hémiſphère boréal de la terre, n'ayant point paſſé l'équateur, j'apprens que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude eſt de 41° boréale, & la longitude 46°. 33′. 30″; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude eſt 46°. 33′ 30″; je cherche le lieu dont la latitude eſt 41°, & je trouve que ce lieu eſt la ville de Conſtantinople, ſans que j'aye eu beſoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce ſoit.

Ainſi, en quelqu'endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, & enſuite l'obſervation de la hauteur du pole m'en montrera la latitude. Je n'ai alors qu'à prendre un globe terreſtre, ou de bonnes cartes géographiques, & il me ſera aiſé de marquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelqu'inconnu que me ſoit d'ailleurs le pays.

Il eſt bien malheureux que les plus habiles horlogers n'ayent pas encore pu réuſſir à faire des horloges auſſi excellentes que cette méthode l'éxige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent réguliérement, qu'autant qu'elles ſont fixées dans un appartement tout-à-fait tranquille; les moindres ſecouſſes & les plus légers ébranlemens étant capables de les déranger: ces pendules ſont donc abſolument inutiles pour les voyages. Auſſi comprend-on aiſément, que le

mouvement du pendule qui en règle la marche, ne ſauroit ſouffrir les agitations auxquelles il ſeroit expoſé dans le voyage. Il y a cependant environ dix ans, qu'un ouvrier Anglois s'eſt vanté d'avoir conſtruit une horloge inſenſible aux ſecouſſes du voyage, & même on a prétendu, qu'après l'avoir fait courir long-tems dans un caroſſe, on n'y avoit pas remârqué le moindre dérangement; ſur quoi l'inventeur reçut une partie du prix deſtiné à la découverte de la longitude, & le reſte devoit lui être payé, après l'épreuve d'un long voyage par mer; mais depuis ce tems les gazettes n'en ont plus parlé; d'où il eſt à préſumer, que cette entrepriſe a échoué comme quantité d'autres faites pour ce deſſein.

le 19 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXV.

A défaut de l'excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de préſenter une idée à V. A., on a regardé juſqu'ici les éclipſes de lune comme le moyen le plus ſûr pour découvrir les longitudes; mais ces phénomènes arrivent ſi rarement, qu'on ne peut pas s'en ſervir toutes les fois qu'on en a beſoin.

V. A. ſait, que la lune s'éclipſe lorſqu'elle

paſſe par l'ombre de la terre : on peut remarquer alors le moment où la lune commence à s'y enfoncer & celui où elle en ſort ; le premier eſt nommé le commencement de l'éclipſe, & l'autre la fin ; & quand on les obſerve tous deux, le tems moyen entr'eux eſt nommé le milieu de l'éclipſe. La lune s'enfonce quelquefois toute entiére dans l'ombre de la terre, & reſte pendant quelque tems tout-à-fait inviſible ; c'eſt alors une éclipſe totale, pendant laquelle on peut remarquer le moment où la lune diſparoît entiérement, & celui où elle recommence à ſortir de l'ombre ; celui-là eſt nommé commencement de l'obſcurciſſement entier, & celui-ci la fin. Mais quand il n'y a qu'une partie de la lune qui ſoit obſcurcie, cette éclipſe s'appelle partiale, & on ne peut y remarquer que les momens du commencement & de la fin. V. A. ſait d'ailleurs que les éclipſes de lune n'arrivent qu'au tems des pleines lunes & aſſez rarement.

Quand donc on obſerve une éclipſe de lune en deux lieux diférens, ſitués ſous diférens méridiens, on y verra bien le commencement de l'éclipſe au même moment, mais les horloges ne marqueront pas la même heure ni le même tems : je parle des horloges bien réglées, dont chacune montre préciſément XII heures, lorſqu'il eſt midi au lieu où elle ſe trouve. Si ces lieux ſont ſitués ſous le même méridien, les horloges montreront bien le même tems, au commencement & à la fin de

l'éclipſe : mais ſi les deux méridiens ſont éloignés l'un de l'autre de 15 dégrés, ou que la diférence de leurs longitudes ſoit de 15°, les horloges doivent diférer d'une heure entiére, du commencement de l'éclipſe juſqu'à la fin, l'horloge du lieu ſitué plus près de l'orient montrera une heure de plus que l'autre; la diférence de 30° en longitude, cauſera celle de deux heures dans le tems marqué par les horloges; & ainſi de ſuite ſelon la table ci-jointe.

Diférence en Longitude.				
15	dégrés	font	1	heure.
30	dits	. . .	2.	
45	dits	. . .	3.	
60	dits	. . .	4.	
75	dits	. . .	5.	
90	dits	. . .	6.	
105	dits	. . .	7.	
120	dits	. . .	8.	
135	dits	. . .	9.	
150	dits	. . :	10.	
165	dits	. . .	11.	
180	dits	. . .	12.	

Si donc la diférence en longitude étoit de 150°, les horloges diféreroient de 10 heures du commencement à la fin de l'éclipſe.

Ainſi quand on obſerve la même éclipſe en deux endroits diférens, & qu'on marque éxactement le tems de l'horloge au moment du commencement de l'éclipſe, on pourra conclure de la diférence entre les tems marqués, combien ces lieux diférent en longitudes. Or, celui où le tems eſt plus avancé, ſera ſitué plus vers l'orient, & par conſéquent ſa longitude plus grande, puiſqu'on compte les longitudes de l'occident à l'orient.

C'eſt auſſi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, & qu'on a dreſſé les cartes géographiques conformément à ces déterminations. Mais il faloit toujours comparer les obſervations faites dans un lieu dont la longitude n'étoit pas encore connue, avec celles qui ont été faites dans un lieu connu, & attendre juſqu'à ce qu'on put faire cette comparaiſon. Si j'étois donc parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, & que l'occaſion ſe préſentât d'y obſerver une éclipſe de lune, cela ne me ſerviroit de rien pour connoître d'abord ma longitude; ce n'eſt qu'à mon retour, que ſe pourrois comparer mon obſervation avec une autre faite dans un lieu connu, & j'apprendrois ainſi trop tard où j'étois alors. L'eſſentiel eſt de pouvoir m'éclaircir ſur le champ là-deſſus, pour prendre mes meſures.

Auſſi peut-on ſe ſatisfaire depuis qu'on connoît ſi éxactement le mouvement de la lune, qu'on eſt en état, non-ſeulement de prédire toutes

toutes les éclipſes, mais de marquer le moment du commencement & de la fin, ſuivant l'horloge d'un lieu connu. V. A. ſait que nos almanacs de Berlin marquent toujours le commencement & la fin de chaque éclipſe, ſuivant l'horloge de Berlin. On peut donc, quand on veut faire un long voyage, achetter un almanac de Berlin, & ſi l'occaſion ſe préſente d'obſerver une éclipſe de lune dans un endroit inconnu, il faut en marquer éxactement le tems ſuivant une montre bien réglée ſur midi, & comparer les momens du commencement & de la fin de l'éclipſe avec ceux de l'almanac, pour s'aſſûrer de la diférence entre le méridien de Berlin & celui qui paſſe par l'endroit où l'on ſe trouve.

Il ſe trouve cependant dans cette méthode, outre la rareté des éclipſes de lune, l'inconvénient de ne pouvoir pas diſtinguer aſſez éxactement le moment du commencement ou de la fin de l'éclipſe, qui arrivent prèſque inſenſiblement, & qu'on peut bien ſe tromper de pluſieurs ſecondes. Mais comme l'erreur ſera à-peu-près la même pour la fin & pour le commencement, on cherche le milieu entre les deux momens obſervés, qui ſera celui de l'éclipſe, & on le compare enſuite avec celui que l'almanac marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Et ſi les almanacs de l'année ſuivante ne ſont pas encore imprimés, quand on veut voyager, ou que le voyage ait à durer quel-

ques années, on trouve des livres où les éclipses sont déja calculées pour plusieurs années de suite.

le 22 Septembre 1761.

LETTRE CLXVI.

Les éclipses de soleil peuvent encore servir à déterminer les longitudes, mais d'une autre maniére, qui demande des recherches plus profondes, parce que le soleil lui-même ne souffre alors aucun obscurcissement; ce n'est que la lune qui se met devant lui, & qui empêche ses rayons de parvenir jusqu'à nous, comme quand on porte un parasol pour s'en garantir, ce qui n'empêche pas que d'autres n'en voyent tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre-t-elle le soleil qu'à une partie des habitans de la terre, & nous pouvons voir une éclipse de soleil à Berlin, pendant que sa lumiére n'éprouve aucun affoiblissement à Paris.

Mais la lune est réellement éclipsée par l'ombre de la terre; sa propre lumiére en est diminuée ou éteinte, d'où résulte que les éclipses de lune sont vues de la même maniére, par-tout où elle se trouve sur l'horizon au tems de l'éclipse.

Il n'échappe pas à la pénêtration de V. A. que s'il y avoit au ciel d'autres corps qui souf-

friſſent de tems-en-tems quelqu'obſcurciſſement réel, ils pourroient être employés avec le même ſuccès que les éclipſes de lune, à déterminer les longitudes. Les ſatellites de Jupiter qui paſſent ſi ſouvent dans l'ombre de leur planète, qu'il ne ſe paſſe prèſque point de nuit, qu'il n'y en ait un d'éclipſé, peuvent être mis dans ce rang, enſorte que leurs éclipſes nous fourniſſent un moyen très-propre à déterminer les longitudes; auſſi les aſtronomes s'en ſervent-ils avec grand ſuccès.

V. A. ſait que Jupiter a quatre ſatellites qui font leurs révolutions autour de lui, chacun dans ſon orbite, comme je le répréſente ici *Tab. II. fig.* 1. par les cercles décrits autour de Jupiter: j'y ai répréſenté auſſi le ſoleil, pour marquer l'ombre A O B derriére le corps de Jupiter. On voit dans cette figure le premier ſatellite marqué 1 pret à entrer dans l'ombre, le ſecond marqué 2 vient d'en ſortir, le troiſiéme 3 eſt encore fort éloigné d'y entrer, & le quatriéme 4 en eſt ſorti dès longtems.

Sitôt qu'un des ſatellites entre dans l'ombre, il devient inviſible & aſſez promtement; deſorte qu'en quelqu'endroit que ſe trouve la terre, on voit éclipſer ſubitement le ſatellite qu'on avoit vû juſques-là aſſez diſtinctement. Cette entrée d'un ſatellite dans l'ombre de Jupiter eſt nommée *immerſion* & ſa ſortie de l'ombre *émerſion*; c'eſt alors qu'on voit repa-

BIBLIOTHEQUE LAUSANNE

roître ſubitement le ſatellite qui a été inviſible pendant quelque tems.

Les immerſions & les émerſions ſont également propres à déterminer les longitudes, puiſqu'elles arrivent dans un moment marqué; deſorte que quand on obſerve un tel phénomène en pluſieurs lieux diférens de la terre, on doit trouver dans les tems marqués ſelon les horloges de chaque lieu, autant de diférence, que l'éxige celle qu'il y a entre les méridiens. Il en eſt de même que ſi l'on obſervoit le commencement ou la fin d'une éclipſe de lune; & la choſe eſt alors ſans aucune difficulté; on eſt déja parvenu depuis quelque tems à prédire ces éclipſes des ſatellites de Jupiter, c'eſt-à-dire, leurs immerſions & leurs émerſions, & on n'a qu'à comparer le tems obſervé avec le tems calculé pour un lieu connu, comme Berlin, pour conclure d'abord l'éloignement de ſon méridien avec celui de Berlin.

Auſſi ſe ſert-on par-tout de cette méthode dans les voyages par terre; mais on n'a pas encore trouvé moyen d'en profiter ſur les vaiſſeaux, où le beſoin en eſt bien plus important pour être aſſuré du lieu où l'on eſt. Si l'on pouvoit voir des yeux les ſatellites de Jupiter auſſi bien que la lune, cette méthode n'auroit aucune difficulté ſur mer; mais on ne le peut qu'à travers d'une lunette de 4 ou 5 pieds au moins, circonſtance qui cauſe un obſtacle invincible.

V. A. ſait combien il faut d'adreſſe quand on

ſe ſert ſur terre d'une lunette un peu longue, pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler, & pour la tenir fixe, ſans perdre l'objet; elle en conclura donc, qu'un vaiſſeau étant dans une agitation continuelle, il doit ètre prèsqu'impoſſible de découvrir ſeulement Jupiter; & que quand on l'auroit trouvé, on le perd de vue au même inſtant. Or pour bien obſerver l'immerſion ou l'émerſion d'un ſatellite de Jupiter, il faut abſolument qu'on puiſſe le regarder fixement pendant quelque tems; & cela n'étant pas poſſible en mer, il paroît qu'il faut renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Il y a cependant deux moyens de remèdier à cet inconvénient; l'un de trouver des lunettes de ſix pouces ou moins encore, qui découvriroient aſſez diſtinctement les ſatellites de Jupiter; & il n'eſt pas douteux qu'il ne ſoit beaucoup plus aiſé de les manier que celles de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec un grand ſuccès à la perfection de ces lunettes; mais il reſte à ſavoir ſi elles ne demanderont pas autant d'adreſſe pour les diriger, que les ordinaires qui ſont plus longues.

L'autre moyen ſeroit de ſe ménager ſur le vaiſſeau un ſiége ſi fixe & ſi immobile, qu'il n'en reſſentit point les agitations; il ſemble qu'un balancement adroit pourroit conduire à ce but. En effet, il n'y a pas long-tems que nous avons lu dans les gazettes, qu'un Anglois

prétendoit avoir inventé un ſiége ou chaiſe telle, qu'il prétendoit par-là au prix propoſé ſur la découverte des longitudes. Il avoit raiſon, puiſqu'on pourroit par ce moyen obſerver en mer les immerſions & émerſions des ſatellites de Jupiter, qui ſont ſans-doute très-propres pour les déterminer: mais dès-lors on n'en a plus entendu parler. V. A. jugera aiſément d'après cela, à combien de difficultés la découverte des longitudes eſt aſſujettie.

le 26 Septembre 1761.

LETTRE CLXVII.

Le ciel nous fournit encore une reſſource pour parvenir ſans lunettes à la découverte des longitudes, à laquelle les aſtronomes paroiſſent donner la plus grande confiance. C'eſt la lune, non-ſeulement quand elle eſt éclipſée, mais toujours, pourvu qu'elle ſoit viſible; avantage immenſe, puiſque les éclipſes ſont ſi rares, & que les immerſions & les émerſions des ſatellites de Jupiter n'arrivent pas à notre gré; parcequ'il s'écoule tous les ans un tems conſidérable, pendant lequel la planète de Jupiter n'eſt pas viſible, au lieu que la lune s'offre prèſque toujours à notre vue.

V. A. aura ſans-doute déja remarqué que la lune ſe lève tous les jours prèſque trois quarts

d'heure plus tard, parcequ'elle n'eſt pas attachée à un lieu fixe rélativement aux étoiles fixes, qui conſervent toujours la même ſituation entr'elles, quoiqu'elles paroiſſent emportées par le ciel, pour achever chaque jour leur révolution autour de la terre. Je parle ici ſelon les apparences; car c'eſt la terre qui tourne tous les jours autour de ſon axe, tandis que le ciel & les étoiles fixes demeurent en repos; & que le ſoleil & les planètes changent continuellement de place à l'égard des étoiles fixes. La lune faiſant parmi les étoiles, d'un jour à l'autre, des changemens de place très-conſidérables, devient propre à déterminer les longitudes.

Si l'on voit aujourd'hui la lune près d'une certaine étoile fixe, elle en paroîtra demain, à la même heure, très-conſidérablement éloignée vers l'orient, & la diſtance ſurpaſſe même quelquefois 15 dégrés. La viteſſe de ſon mouvement n'eſt pas toujours la même, cependant on eſt parvenu à la déterminer très-éxactement pour tous les jours; ce qui nous met en état de connoître d'avance ſa vraie place dans le ciel, pour toutes les heures du jour, en rapportant les heures aux horloges qui ſont ſous un méridien connu, tel, par éxemple, que celui de Berlin, ou de Paris.

Suppoſons donc, qu'après un long voyage, je me trouve en mer dans un lieu tout-à-fait inconnu, & voyons comment je pourrai me ſervir de la lune pour connoître la longitude du lieu où je ſuis; car il n'y a aucune diffi-

culté pour la latitude, pas même sur mer, où l'on a des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pole, à laquelle la latitude est toujours égale. Toute mon attention se dirigera donc sur la lune, je la comparerai avec les étoiles fixes qui en sont plus près, & j'en conclurai sa véritable place rélativement à elles. V. A. sait qu'on a des globes célestes, sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, & qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une carte céleste, où les étoiles fixes, dont la lune est voisine, sont exprimées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors; & ma montre, que j'aurois bien réglée là, après y avoir observé le midi, me marquera le tems de cette observation. Puis, par la connoissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure la lune a dû paroître au même lieu du ciel, où je l'ai vue. Si le tems observé convient parfaitement avec le tems de Berlin, ce sera une marque que le lieu où je suis est éxactement sous le méridien de Berlin, & que par conséquent la longitude est la même. Mais si le tems de mon observation est diférent de celui de Berlin, cette diférence m'indiquera celle qui est entre les méridiens; & comptant 15 dégrés pour chaque heure de tems, je conclurai de combien la longitude de cet endroit est plus ou moins grande que celle

de Berlin: la longitude du lieu qui a le tems le plus avancé, étant toujours la plus grande.

Tel eſt le précis de la maniére de déterminer les longitudes par les ſimples obſervations de la lune. Je remarque que les plus heureux momens pour mieux réuſſir dans cette opération & bien déterminer le lieu de la lune, ſont, lorſqu'une étoile fixe ſe cache derriére la lune; on nomme cela occultation, & il y a deux momens à obſerver, celui où la lune par ſon mouvement couvre l'étoile, & celui où l'étoile reparoît. Les aſtronomes ſont très-attentifs à bien ſaiſir ces momens des occultations pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Je m'attends cependant à une objection de la part de V. A. à l'égard de la montre ou de l'horloge, dont je ſuppoſe que notre obſervateur ſur mer eſt muni; après avoir ſoutenu l'impoſſibilité que des horloges ſoient aſſez parfaites pour marcher toujours également malgré les ſecouſſes du vaiſſeau. Mais cette impoſſibilité ne regarde que les horloges qui reſtent juſtes pendant un très-long intervalle de tems, ſans qu'on ait beſoin de les règler: or pour les obſervations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être ſuffiſante, pourvu qu'elle marche uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien règlée ſur le midi du lieu où l'on ſe trouve; quand on doute que l'on y puiſſe encore compter le ſoir ou la nuit, lorſqu'on obſervera la lune, les étoiles nous fourniront auſſi des moyens très-ſûrs pour la règler

de nouveau. Car puiſque la ſituation du ſoleil par rapport aux étoiles fixes nous eſt parfaitement connue pour tout tems, l'obſervation ſeule de quelqu'étoile ſuffit pour déterminer le lieu où le ſoleil doit ſe trouver alors, d'où nous pouvons conclurre l'heure que l'horloge, bien règlée, devoit montrer. Ainſi, au même inſtant où nous aurons fait l'obſervation de la lune, nous ſommes en état de règler auſſi notre montre par les étoiles, & toute montre eſt cenſée marcher réguliérement pendant un ſi petit intervalle.

le 29 Septembre 1761.

LETTRE CLXVIII.

CETTE derniére méthode de trouver les longitudes, fondée ſur les obſervations de la lune, ſemble mériter la préférence, puiſque les autres ſont aſſujetties à trop de difficultés, ou que l'occaſion de s'en ſervir eſt très-rare. Et V. A. comprend aſſez que le ſuccès dépend uniquement du grand dégré de préciſion dans les opérations, & que les erreurs qu'on pourroit commettre, conduiroient à des concluſions ſur leſquelles on ne ſauroit compter. Il eſt donc fort important d'expliquer à V. A. quel dégré de préciſion on peut eſpérer d'atteindre en mettant cette méthode en uſage, fondée ſur le changement conſidérable que la lune éprouve

d'un jour à l'autre dans sa place, nous pouvons conclurre de cette méthode, que si le mouvement de la lune étoit plus rapide, il seroit plus propre à nous découvrir les longitudes, & nous procureroit un plus haut dégré de précision. Que si, au contraire, il étoit beaucoup plus lent, & que nous ne pussions prèsque pas discerner son changement d'un jour à l'autre, nous ne saurions en tirer aucun secours pour la connoissance des longitudes.

Supposons donc que la lune change de placc parmi les étoiles fixes de 12 dégrés en 24 heures; puisqu'en effet son changement est ordinairement plus considérable; elle changera donc d'un dégré en 2 heures, & d'un demi-dégré soit 30 minutes en une heure; si nous nous trompions dans l'observation d'un lieu de la lune de 30 minutes, ce seroit comme si nous observions la lune une heure plutôt ou plus tard, & nous commettrions l'erreur d'une heure dans la conclusion, sur la diférence des méridiens. Or une heure de diférence dans les méridiens répond à 15 dégrés dans leur longitude; par conséquent nous nous tromperions de 15 dégrés dans la longitude même du lieu que nous cherchons; ce qui seroit sans-doute une erreur si énorme, qu'il vaudroit prèsqu'autant ne rien savoir du tout; & la seule estime du voyage, c'est-à-dire, du chemin & de la route, quelqu'incertaine qu'elle fut, ne nous jetteroit jamais dans une erreur si grossiére. Aussi faudroit-il être bien mal-adroit pour se tromper

de 30 minutes ſur la place de la lune, & les inſtrumens dont on ſe ſert devroient être bien mauvais, ce qui n'eſt pas à préſumer.

Cependant, quelqu'excellens que ſoient les inſtrumens, & quelques ſoins qu'on y apporte, il eſt impoſſible d'éviter toute erreur, & il faut être bien habile pour ne pas ſe tromper d'une minute dans la détermination du lieu de la lune. Or, puiſqu'il change de 30 minutes dans une heure, il changera d'une minute en deux minutes de tems. Quand donc on ne ſe trompe que d'une minute dans le lieu de la lune, il en naîtra dans la diférence des méridiens l'erreur de deux minutes. Et une heure ſoit 60 minutes répondant à 15 dégrés dans la longitude, il en réſultera l'erreur d'un demi-dégré dans la longitude, & ce dégré de préciſion pourroit bien être ſuffiſant, pourvu que nous puiſſions y atteindre.

J'ai ſuppoſé juſqu'ici notre connoiſſance du mouvement de la lune ſi parfaite, que pour un méridien connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment, ſans erreur; mais nous ſommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas encore 20 ans qu'on ſe trompoit de plus de 6 minutes dans le calcul, & ce n'eſt que dès-lors, que l'habile profeſſeur *Mayer* à Göttingue, pourſuivant la route que j'avois propoſée, eſt parvenu à diminuer cette erreur au-deſſous d'une minute. Il pourroit donc bien arriver que du côté du calcul nous commiſſions auſſi l'er-

reur d'une minute, qui jointe à celle d'une minute commiſe dans celle de l'obſervation du lieu de la lune, doublera celle qui en réſultera ſur la longitude du lieu où nous nous trouvons, & par conſéquent elle pourroit bien monter à un dégré entier : il eſt bon de remarquer encore que, ſi la lune parcouroit en 24 heures un eſpace plus grand que ne font 12 dégrés, l'erreur dans la longitude ſeroit moins conſidérable. On trouvera peut-être moyen de diminuer encore les erreurs auxquelles nous ſommes aſſujettis dans l'obſervation & dans le calcul; alors cette méthode nous découvriroit la longitude à moins d'un dégré près. Mais on peut eſpérer d'arriver dans cette perfection à un plus haut dégré de préciſion. On n'a qu'à faire pluſieurs obſervations, ce qui ſe peut ſi l'on reſte pluſieurs jours dans un endroit : il n'eſt pas à craindre alors que toutes les concluſions ſoient également défectueuſes, quelques-unes marqueront la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite, & prenant un milieu entre toutes les concluſions, on pourra être ſûr que cette longitude ne diferera pas d'un dégré de la vérité.

Les Anglois qui ont voulu par généroſité encourager cette découverte, y ont mis un triple prix, l'un de 10000, le ſecond de 15000 & le troiſiéme de 20000 livres ſterlings. Le premier eſt deſtiné à celui qui aura trouvé les longitudes à un dégré près, de maniére qu'on puiſſe être ſûr que l'erreur ne ſurpaſſe pas un

dégré. Le ſecond à celui qui ſatisfera encore plus éxactement à la queſtion, enſorte que l'erreur ne ſurpaſſe jamais deux tiers de dégré ou 40 minutes. Le troiſiéme ſera donné à celui qui ſera capable de déterminer les longitudes ſi éxactement, que l'erreur n'aille jamais au-delà d'un demi-dégré ſoit trente minutes: l'on ne demande point un plus haut dégré de préciſion. Ces prix ſe trouvent encore dans leur entier, outre la portion délivrée à l'horloger qui prétendoit avoir fait des montres parfaites. Mr. *Mayer* demande actuellement le plus haut prix, & je crois qu'il y a droit.

le 3 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXIX.

V. A. doit être ſuffiſamment inſtruite ſur la découverte des longitudes: j'ai eu l'honneur de lui expoſer pluſieurs voyes, qui peuvent conduire à leur détermination.

La premiére & la plus naturelle eſt d'obſerver ſoigneuſement le chemin & la direction du voyage; mais les courans & les tempêtes, auxquelles on eſt ſouvent expoſé en mer, rendent cette méthode impraticable.

La ſeconde demande la conſtruction d'une horloge ſi parfaite qu'elle marche toujours uniformément, non-obſtant les ſecouſſes du voya-

ge ; ouvrage que les artiſtes n'ont pas trouvé encore le moyen d'éxécuter.

La troiſiéme eſt fondée ſur l'obſervation des éclipſes de lune, qui rempliroit tous les déſirs ſi l'occaſion n'en étoit pas ſi rare, qu'on ne peut pas s'en ſervir au beſoin le plus preſſant.

La quatriéme regarde les éclipſes des ſatellites de Jupiter, qui ſeroient très-propres à ce deſſein, ſi l'on trouvoit le moyen de ſe ſervir ſur mer des lunettes ſans leſquelles on ne ſauroit les voir.

Enfin les obſervations de la lune même nous ont fourni la cinquiéme, qui paroît la plus praticable, pourvu qu'on ſoit en état d'obſerver ſi éxactement le lieu de la lune dans le ciel, que les erreurs, qu'on ne ſauroit éviter, ne ſurpaſſent jamais une minute, pour être ſûr qu'on ne ſe trompe pas de plus d'un dégré dans la détermination de la longitude.

C'eſt ſur ces cinq méthodes, que ceux qui ont travaillé juſqu'ici ſur cette queſtion, ont principalement dirigé leurs ſpéculations, mais il en eſt encore une ſixiéme, qui ſemble auſſi propre à nous conduire à la réſolution de ce problême, ſi elle eſt mieux cultivée ; & qui peut-être nous fournira un jour le plus ſûr moyen de trouver les longitudes ; quoiqu'en ce moment, nous en ſoyons fort éloignés encore.

Elle n'eſt pas tirée du ciel, mais uniquement attachée à la terre, étant fondée ſur la nature de l'aimant & de la bouſſole. Son explication

m'ouvre une nouvelle carriére pour entretenir V. A. ſur l'important article de la phyſique, qui regarde la force magnétique; & j'eſpère qu'elle ſera charmée d'honorer de ſon attention les éclairciſſemens que j'aurai l'honneur de lui préſenter là-deſſus.

Mes réflèxions ne porteront que ſur le ſujet dont il s'agit ici, c'eſt-à-dire, ſur la découverte des longitudes, & pour cet effet je remarquerai en général, que l'aimant eſt une pierre qui a la qualité d'attirer le fer & de ſe diſpoſer ſelon une certaine direction, & qu'elle communique la même qualité au fer & à l'acier, quand on le frotte ou touche ſeulement d'un aimant; me propoſant de mieux approfondir dans la ſuite cette qualité, & d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la deſcription d'une aiguille aimantée, qui, montée d'une certaine maniére pour l'uſage de la navigation, porte le nom de bouſſole.

Pour cet effet on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à-peu-près de la *fig.* 2. *Tab. II.* dont le bout B eſt pointu pour mieux le diſtinguer de l'autre A; elle eſt munie au milieu C d'un petit chaperon creuſé par le bas, pour mettre l'aiguille ſur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la ſeconde figure.

Les deux parties s'ajuſtent de maniére que l'éguille étant dans un parfait équilibre, puiſſe tourner librement ou reſter fixe ſur le pivot, en quelle ſituation qu'on la mette. Avant que de

de l'aimanter, il eſt bon de la tremper, pour la rendre auſſi dure qu'il eſt poſſible; puis en la frottant ou la touchant d'un aimant excellent elle ſera d'abord magnétique. Les deux bouts ne ſe balanceront plus, mais l'un comme B deſcendra comme s'il étoit devenu plus peſant, & pour la rétablir en équilibre il faudroit ôter quelque choſe du bout B, ou ajouter un petit poids à celui A; mais les ouvriers prévoyant ce changement cauſé par le magnétiſme, font dès le commencement le bout B plus léger que celui A, afin que l'éguille aimantée prenne d'elle-même la ſituation horizontale.

Elle acquiert alors une autre propriété bien plus remarquable; elle n'eſt plus indiférente à toutes les ſituations, comme auparavant; mais elle en affecte une préférablement à toutes les autres, & ſe diſpoſe d'elle-même de maniére que le bout B eſt dirigé à-peu-près vers le nord, & le bout A vers le ſud: & la direction de l'éguille aimantée ſe rapporte à-peu-près avec la ligne méridienne.

V. A. ſe ſouvient que, pour tracer la ligne méridienne qui nous montre le nord & le ſud, il faut recourir aux obſervations aſtronomiques, puiſque le mouvement du ſoleil & des étoiles détermine cette direction; & que quand on n'eſt pas pourvu des inſtrumens néceſſaires, & ſur-tout quand le ciel eſt couvert, on ne ſauroit tirer aucun ſecours du ciel pour tracer la ligne méridienne; cette propriété de l'éguille aimantée eſt donc d'autant plus admirable;

qu'elle nous montre en tout tems & en tout lieu la direction vers le nord, d'où dépendent les autres vers l'est, sud & ouest; c'est pourquoi l'usage de l'éguille aimantée ou de la boussole est devenue universelle, étant absolument nécessaire dans plusieurs occasions de connoître ces principales directions du globe.

C'est dans la navigation que la boussole procure les plus grands avantages; le cours d'un vaisseau devant toujours être dirigé vers un certain côté du monde, pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction du cours qu'il faut tenir. Aussi n'étoit-on point en état avant cette découverte d'entreprendre de longs voyages par mer; à peine osoit-on s'éloigner des côtes, & dès qu'on les perdoit de vue, on risquoit de s'égarer, à moins que le ciel ne fut clair & que les étoiles ne montrassent les côtés du monde.

Un vaisseau en pleine mer, sans connoissance des côtés du globe, se trouve précisément dans l'état d'un homme qui, les yeux bandés, devroit marcher vers l'église du dome à Magdebourg; cet homme croiant aller d'un côté, iroit vers un autre. La boussole est donc le principal guide dans la navigation; & ce n'est qu'après cette importante découverte, qu'on a hazardé de traverser le grand océan, & découvert le nouveau monde: & que feroit un pilote sans boussole, pendant ou après une tempête, quand il ne peut tirer aucun secours du

ciel, quelque cours qu'il tienne, il ne ſauroit pas s'il marche vers le nord, vers le ſud, ou quelqu'autre côté du monde? Il s'égareroit bientôt au point de ne pouvoir plus ſe ſauver. Mais la bouſſole le tire d'abord de cet embarras, & l'empèche de s'égarer en lui indiquant les côtés du monde. V. A. jugera donc combien la découverte de l'éguille aimantée ou de la bouſſole eſt importante.

le 6 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXX.

QUOIQUE l'aiguille aimantée affecte la ſituation d'ètre dirigée du ſud vers le nord, il y a des cauſes accidentelles, capables de déranger cette direction, qu'il faut éviter très-ſoigneuſement. C'eſt le voiſinage de quelqu'aimant, fer, ou acier. V. A. n'a qu'à préſenter un couteau à une aiguille aimantée, elle quittera d'abord ſa direction naturelle, pour aller vers le couteau, & en faiſant tourner le couteau autour de l'aiguille, on lui fera prendre toutes les directions poſſibles. Pour être donc aſſuré que l'aiguille eſt dans ſa direction naturelle, il faut en éloigner tout fer ou acier auſſi bien que les aimans; choſe d'autant plus facile, que ces matiéres n'en troublent la ſituation, que lorſqu'elles ſont fort proches; une fois écartées,

leur effet devient insensible, pourvu que ce ne soit pas un aimant très-fort, qui pourroit bien agir sur l'aiguille à la distance de quelques pieds.

Mais le fer seul ne produit pas cet effet, puisqu'on peut se servir de boussoles dans les mines même de fer. V. A. sent bien, que sous terre, dans les mines, on se trouve dans le même cas que sur mer, lorsque le ciel est couvert, & qu'on y est obligé de se règler sur les côtés du monde, en poussant les mines suivant une certaine direction. Aussi dresse-t-on des plans qui représentent la route de tous les tours & des allées creusées sous la terre, en se règlant uniquement sur la boussole dans cet ouvrage; c'est l'objet de la science qu'on nomme géomètrie souterraine.

Pour revenir à notre boussole soit aiguille aimantée, j'ai remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à-peu-près; ce n'est effectivement que par abus, qu'on dit que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé que leur direction à Berlin s'écartoit de la véritable ligne méridienne, d'environ quinze dégrés; or une aberration de 15°. est fort considérable.

La *fig.* 3. *Tab. II.* représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée du nord au sud, & ensuite celle qui lui est perpendiculaire, marquant à droite ost ou est, & à la gauche west ou ouest. Or l'aiguille aimantée A B, n'est pas dirigée sur la méridienne, mais s'en écarte de

l'angle B O *nord* qui eſt de 15° ; on nomme cet angle la *déclinaiſon* & quelquefois auſſi la *variation* de la bouſſole ou de l'aiguille aimantée ; & puiſque le bout le plus proche du nord B, qu'on nomme toujours le bout boréal, s'en écarte vers l'oueſt ou vers l'occident, on dit que la déclinaiſon eſt occidentale de 15°.

Ayant donc déterminé la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, on peut s'en ſervir auſſi bien que ſi elle montroit préciſément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, & on n'a plus qu'à marquer le nord à la juſte diſtance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, & la ligne nord-ſud nous marquera la vraie ligne méridienne, avec les quatre principaux côtés du monde, nord, eſt, ſud, oueſt.

Pour déguiſer mieux le ſecret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le montre, mais l'aiguille n'eſt plus viſible, le carton faiſant avec elle un ſeul corps qu'on met au centre ſur un pivot, afin que ce cercle de l'aiguille puiſſe tourner librement ; alors le cercle prend toujours la ſituation que le point marqué nord ſoit dirigé préciſément vers le nord, pendant que le bout boréal de l'aiguille qu'on ne voit point, s'en écarte en effet d'un angle de 15°. vers l'occident. Cette conſtruction ne ſert qu'à déguiſer la déclinaiſon, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il ſoit plutôt un objet digne de notre admiration, comme nous le verrons enſuite ;

& le carton ne faiſant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empèche qu'elle ne tourne auſſi librement que ſi elle étoit plus légére.

Pour prévenir cet accident, & ſe ſervir mieux de la bouſſole, on poſe l'aiguille dans une boëte ronde, dont la circonférence diviſée en 360°, porte les noms des principaux côtés du monde. Au centre ſe trouve le pivot ou la pointe qui porte l'aiguille, qui prend d'abord une certaine direction; on tourne alors la boëte jusqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde au point juſte dans la circonférence, c'eſt-à-dire, au quinziéme dégré, en comptant depuis le nord vers l'occident; dès-lors les noms marqués ſur la circonférence conviendront avec les vrais côtés du monde.

On ſe ſert cependant en mer d'aiguilles enchaſſées dans des cercles de carton, dont la circonférence eſt diviſée en 360 dégrés pour n'être pas obligé de tourner la boëte; alors le cercle de carton, qu'on nomme bouſſole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaiſſeau pour ſavoir vers quel côté il court, ſi c'eſt au nord, au ſud, à l'eſt, à l'oueſt, ou à quelque direction moyenne. C'eſt auſſi ſur la bouſſole, qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils ſoufflent; puiſque c'eſt de-là qu'on leur impoſe des noms. Il faut cependant être bien aſſuré de la déclinaiſon ſoit variation de la bouſſole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'oueſt, mais elle pourroit être diférente en d'autres en-

droits ſur terre, comme je le ferai voir dans la ſuite.

le 10 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXI.

QUAND j'ai dit que la déclinaiſon de la bouſſole eſt de 15° vers l'occident, cela ne doit s'entendre que de Berlin & pour le tems préſent; car on a remarqué que non-ſeulement cette déclinaiſon eſt diférente dans les diférens endroits de la terre, mais qu'elle change avec le tems dans le même lieu.

Ainſi la déclinaiſon magnétique eſt beaucoup plus grande à Berlin qu'autrefois; je me ſouviens très-bien encore qu'elle n'a été que de 10°; & au ſiécle paſſé il y eut un tems, où elle fut nulle, deſorte que la ſituation de l'aiguille aimantée convenoit alors éxactement avec la ligne méridienne. C'étoit vers l'an 1670; dès-lors la déclinaiſon eſt devenue ſucceſſivement plus grande vers l'oueſt, juſqu'à 15°, comme elle eſt aujourd'hui; & il eſt apparent, qu'elle ira toujours en diminuant, juſqu'à ce qu'elle revienne nulle une ſeconde fois. Ce n'eſt cependant qu'une conjecture, & nous ſommes bien éloignés de pouvoir prédire quelque choſe de certain là-deſſus.

D'ailleurs nous ſavons certainement qu'avant 1670 la déclinaiſon étoit contraire, & di-

rigée vers l'orient ; & plus nous remontons, plus nous trouvons que la déclinaiſon étoit grande vers l'orient. Or nous ne ſaurions remonter plus haut qu'au tems où la bouſſole fut découverte, ce qui tombe dans le quatorziéme ſiécle, mais c'eſt bien long-tems après cette découverte, qu'on a commencé à en obſerver la déclinaiſon à Berlin ; parcequ'on ne s'étoit pas apperçu d'abord, que l'aiguille s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres où l'on a été plus attentif ſur cet article, on a obſervé la déclinaiſon magnétique l'an 1580 de 11°, 15′, eſt. A. 1622 de 6°, 0′, eſt. A. 1634 de 4°, 5′, eſt. A. 1657 il n'y eut point de déclinaiſon ; mais en 1672 elle fut de 2°, 30′, oueſt. A. 1692 de 6°, 0′, oueſt ; & à préſent elle pourroit bien être de 18 dégrés oueſt ou davantage. V. A. voit donc qu'au commencement du ſiécle paſſé elle étoit environ 8° vers l'eſt ; que dès-lors elle a ſucceſſivement diminué, juſqu'à ce qu'elle eſt devenue inſenſible A. 1657, & qu'après ce tems elle eſt devenue occidentale ou vers l'oueſt, en augmentant juſqu'à préſent.

Elle a prèſque tenu le même ordre à Paris, mais elle y fut nulle l'an 1666, 9 ans plus tard qu'à Londres ; d'où V. A. peut obſerver une grande bizarerie dans la diverſité des déclinaiſons, rélativement aux divers lieux de la terre, dans le même tems & au même lieu pour des tems diférens.

A préſent, non-ſeulement par toute l'Euro-

pe, mais par toute l'Afrique & dans la plus grande partie de l'Aſie, la déclinaiſon eſt occidentale, plus grande en quelques lieux, en d'autres plus petite que chez nous. Elle eſt plus grande dans certaines contrées en Europe, que chez nous; ſavoir en Ecoſſe & en Norvège, où la déclinaiſon va bien au-delà de 20°, en Eſpagne, en Italie & en Grèce, au contraire, elle eſt plus petite & de 12° environ; ſur les côtes occidentales de l'Afrique elle eſt d'environ 10°, & ſur les orientales de 12°. Mais avançant dans l'Aſie vers l'eſt, elle diminue ſucceſſivement, & s'évanouït même au milieu de la Sibérie à Jeniſeisk; elle diſparoît encore en Chine à Pekin, & au Japon, mais au-delà de ces endroits, plus à l'eſt, elle devient orientale; & va en augmentant en ce ſens par la partie boréale de la mer pacifique juſqu'aux côtes occidentales de l'Amérique, d'où elle va de nouveau en diminuant, juſqu'à ce qu'elle s'évanouïſſe derechef en Canada, à la Floride, aux isles Antilles & vers les côtes du Bréſil. Au-delà de ces contrées plus vers l'orient, c'eſt-à-dire, vers l'Europe & l'Afrique, elle redevient occidentale, comme je l'ai déja remarqué.

Pour avoir une parfaite connoiſſance de l'état préſent de la déclinaiſon magnétique, il faudroit être en état de marquer pour tous les lieux, tant ſur terre que ſur mer, de quelle grandeur eſt à préſent la déclinaiſon magnétique, & ſi elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Cette connoiſſance ſeroit ſans-doute très-eſtimable,

mais elle n'eſt point à eſpérer; il faudroit qu'il y eut à préſent par-tout des hommes habiles qui, obſervant chacun dans ſon lieu la déclinaiſon magnétique, nous communiquaſſent leurs obſervations avec éxactitude : cependant il faudroit attendre quelques années, juſqu'à ce que les plus éloignées nous parvinſſent; ainſi nous n'arriverions à cette connoiſſance qu'au bout de quelques années. Or quoiqu'en deux ou trois ans la déclinaiſon de l'aiguille aimantée ne change pas conſidérablement, ce changement quelque petit qu'il ſoit, empêcheroit pourtant que la connoiſſance de toutes ces obſervations faites dans les diférentes contrées de la terre, nous éclaircit parfaitement ſur l'état préſent des diférentes déclinaiſons de l'aiguille aimantée.

Il en eſt de même des tems paſſés; à chaque année répond un certain état de déclinaiſon magnétique qui lui eſt propre, & qui la diſtingue de tous les autres tems, paſſés & futurs. Il ſeroit cependant bien à ſouhaiter que nous euſſions cet état bien détaillé pour une ſeule année; nous ne manquerions pas d'en tirer des éclairciſſemens très-importans.

Feu Mr. *Halley*, célèbre aſtronome d'Angleterre, a tâché de nous le donner pour l'année 1700, fondé ſur un grand nombre d'obſervations faites en pluſieurs lieux, ſur terre & ſur mer; mais outre que les contrées très-conſidérables où ces obſervations n'ont pas été faites, y ſont omiſes, la plûpart de celles qu'il a em-

ployé, ont été faites plusieurs années avant l'époque de 1700; desorte que jusques-là la déclinaison a pu souffrir des changemens assez considérables. Il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne sauroit être regardé que comme très-défectueux; d'ailleurs, à quoi nous serviroit-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui dès-lors a changé considérablement.

D'autres géographes Anglois ont donné depuis une carte semblable, où toutes les déclinaisons devroient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais comme elle a les mêmes défauts que celle de *Halley*; & que les observations leur manquoient aussi pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancé à remplir ces espaces vuides, en consultant la carte de *Halley*, qui n'avoit plus lieu certainement en 1744. V. A. jugera par-là, que notre connoissance sur cet article important de la physique, est encore extrêmement imparfaite.

le 13 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXII.

IL est bon d'expliquer aussi comment *Halley* s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques, dans la carte qu'il a dressée pour

l'année 1700, afin que ſi V. A. la voit, elle en comprenne la conſtruction.

D'abord il a marqué à chaque endroit la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été obſervée, il a diſtingué parmi tous ces lieux, ceux où il n'y eut point de déclinaiſon, & il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne, qu'il nomme la ligne de nulle déclinaiſon, puiſque par-tout ſous cette ligne il n'y en avoit alors aucune. Cette ligne n'étoit ni un méridien ni un parallele, mais elle traverſoit par des tours très-obliques l'Amérique ſeptentrionale, & en ſortoit près les côtes de la Caroline ; de-là elle ſe courboit pour traverſer la mer atlantique entre l'Afrique & l'Amérique. Outre cette ligne il en découvrit encore une autre, où la déclinaiſon s'évanouïſſoit auſſi ; elle deſcendoit par le milieu de la Chine, & paſſoit de là par les isles Philippines & la nouvelle Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux lignes, qu'elles ont une communication près de l'un & l'autre pole de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaiſon, Mr. *Halley* a remarqué que par-tout entre la premiére & la derniére, en paſſant de l'occident vers l'orient, c'eſt-à-dire, vers toute l'Europe, l'Afrique & prèſque toute l'Aſie, la déclinaiſon étoit occidentale ; & de l'autre côté au-delà de ces deux lignes, c'eſt-à-dire, dans toute la mer pacifique, elle étoit orientale. Enſuite, ayant fixé ces deux lignes

comme les principales, il alloit confidérer tous les lieux où la déclinaifon étoit de 5 dégrés occidentale; d'où il voyoit qu'il pouvoit encore tirer commodément par tous ces lieux une ligne qu'il nomme la ligne de cinq dégrés occidentale : il trouvoit auffi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnoit, pour ainfi dire, la premiére fans déclinaifon, & l'autre la derniére. Il en fit de même des lieux où la déclinaifon étoit de 10° enfuite de 15°, de 20°, &c. & il vit que les lignes de ces grandes déclinaifons, étoient bornées vers les poles, pendant que celles des petites déclinaifons traverfoient toute la terre & paffoient par l'équateur.

En effet, la déclinaifon furpaffe à peine 15° fous l'équateur tant vers l'oueft que vers l'eft; mais en approchant des poles, on peut arriver à des lieux où la déclinaifon furpaffe 58° & 60°; il y en a fans-doute, où elle eft encore plus grande, furpaffant même 90° & plus, où le bout boréal de l'aiguille fe tournera par conféquent vers le fud.

Enfin, après avoir tiré de femblables lignes par les lieux où la déclinaifon étoit orientale de 5°. 10°. 15°, & ainfi de fuite, Mr. *Halley* a en rempli toute la carte, qui repréfente la furface entiére de la terre, fous chacune defquelles la déclinaifon eft par-tout la même, pourvu que les obfervations ne manquent pas. Auffi Mr. *Halley* a-t-il été affez fcrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au-delà des lieux dont il avoit des obfervations : c'eft pourquoi

la plus grande partie de ſa carte en eſt dépourvue.

Si l'on avoit une telle carte juſte & complette, on y verroit d'un coup-d'œil, quelle déclinaiſon auroit règné à chaque endroit dans le tems pour lequel la carte auroit été dreſſée; & quoique le lieu propoſé ne ſe trouveroit pas préciſément ſous une des lignes marquées, on eſtimeroit aiſément en le comparant avec les deux lignes entre leſquelles il ſeroit ſitué, la déclinaiſon moyenne qui lui conviendroit. Si je me trouvois entre les lignes de 10°, & de 15° de déclinaiſon occidentale, je ſerois certain, que la déclinaiſon y ſeroit plus grande que 10°, & moindre que 15°, & ſelon que je ſerois plus proche de l'un ou de l'autre, je trouverois aiſément le juſte milieu qui m'indiqueroit la véritable déclinaiſon.

V. A. reconnoîtra ſans difficulté par-là, que ſi l'on avoit une telle carte éxacte, elle nous ſerviroit à découvrir des longitudes, au moins pour le tems auquel elle conviendroit. Suppoſons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons cette carte dreſſée pour cette année, nous y verrions d'abord les deux lignes tracées par les endroits où la déclinaiſon eſt nulle, puis deux où elle ſeroit de cinq dégrés, de 10°, de 15°, de 20°, tant occidentale qu'orientale: ſuppoſons même que pour plus grande éxactitude, ces lignes ſoient tirées de dégré en dégré, & que je me trouve quelque part, en mer ou dans un pays inconnu, je tirerois

donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma bouſſole s'en écarte, & je trouverois par éxemple que la déclinaiſon eſt préciſément de 10°, vers l'eſt; alors je prendrois ma carte, j'y chercherois les deux lignes ſous leſquelles la déclinaiſon eſt de 10°, vers l'eſt, & je ſerois ſûr que je me trouve ſous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclairciroit déja beaucoup dans mon incertitude. Enfin j'obſerverois la hauteur du pole, qui étant égale à la latitude du lieu où je me trouverois, il ne me reſteroit plus qu'à marquer ſur les deux lignes mentionnées, les points dont la latitude ſeroit la même que celle que je viens d'obſerver; & alors toute mon incertitude ſeroit réduite à deux points très-éloignés l'un de l'autre; or les circonſtances de mon voyage décideroient aiſément lequel de ces deux lieux eſt celui où je me trouve actuellement.

V. A. conviendra que ſi nous avions des cartes pareilles, cette méthode ſeroit la plus commode de toutes celles que j'ai expoſées; mais c'eſt préciſément ce qui nous manque; & comme nous ſommes encore fort éloignés de pouvoir en dreſſer une pour le tems paſſé, qui ne nous ſerviroit à rien pour le tems préſent, faute d'une quantité ſuffiſante d'obſervations, nous ſommes encore moins inſtruits de tous les changemens de déclinaiſon que chaque endroit éprouve par la ſuite du tems. Les obſervations faites juſqu'ici nous mon-

trent que quelques endroits ſont aſſujettis à des changemens très-conſidérables, & que d'autres n'en ſouffrent prèſque point dans le même intervalle de tems, ce qui nous ôte toute eſpérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelqu'excellente qu'elle ſoit en elle-même.

le 17 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIII.

V. A. ſera ſans-doute curieuſe d'apprendre pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, pourquoi cette direction eſt diférente en diférens lieux, & pourquoi dans le même endroit elle change avec le tems: je répondrai de mon mieux à ces queſtions importantes, craignant beaucoup de ne pas ſatisfaire à mon gré la curioſité de V. A.

Je remarque d'abord que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimans, & que ce n'eſt que leur figure propre à balancer ſur un pivot & y tourner librement, qui la rend plus marquée. L'aimant ſuſpendu par un fil, ſe tourne vers un certain côté, & lorſqu'on le met dans un petit vaſe, pour le faire nager ſur l'eau, le vaſe portant l'aimant affectera toujours une cer-

certaine direction. Tout aimant armé de deux points, dont l'un affecte le nord & l'autre le ſud, ſera ſujet aux mêmes variations que les éguilles.

Ces points ſont très-ſenſibles dans chaque aimant, puiſque c'eſt par où il attire le fer avec la plus grande force. On les nomme les *Poles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des poles de la terre ou du ciel, parce que l'un tâche de ſe diriger vers le pole boréal, & l'autre vers le pole auſtral ou méridional de la terre; ce qui ne doit s'entendre qu'à-peu-près; car lorſqu'on introduiſit ces noms la déclinaiſon n'étoit pas encore connue. Celui des poles de l'aimant qui ſe dirige vers le nord, eſt nommé pole boréal & celui qui ſe dirige vers le ſud pole méridional ou auſtral.

J'ai déja remarqué qu'une aiguille aimantée, ainſi que l'aimant même, ne prend cette ſituation qui lui paroît naturelle, que lorſqu'elle ſe trouve hors du voiſinage de quelqu'autre aimant ou du fer. Quand une aiguille aimantée ſe trouve proche d'un aimant, elle règle ſa ſituation ſur les poles de cet aimant; enſorte que le pole boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, & réciproquement le méridional de l'aimant le bout boréal de l'aiguille; c'eſt pourquoi en rapportant deux aimants enſemble, on nomme poles amis ceux qui portent diférens noms, & poles ennemis ceux du même nom; cette propriété eſt très-remarquable lorſqu'on approche deux ai-

mants, car alors on verra non-ſeulement que les poles de diférens noms s'attirent mutuellement, mais que les poles du même nom ſe fuyent & ſe repouſſent l'un l'autre. On le voit encore plus diſtinctement, lorſqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Il eſt fort important pour voir cela de bien conſidérer la ſituation qu'une aiguille aimantée prend dans le voiſinage d'un aimant.

Dans la *fig.* 4. *Tab. II.* la barre A B repréſente un aimant, dont le pole boréal eſt en B & le pole méridional en A; V. A. voit pluſieurs poſitions de l'aiguille aimantée ſous la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b*, eſt le pole boréal, & *a*, le pole méridional. Dans toutes ces poſitions le bout *b* de l'aiguille s'approche du pole A de l'aimant, & le bout *a* du pole B. Le point *c* marque le pivot, ſur lequel l'aiguille tourne, & V. A. n'a qu'à bien conſidérer la figure pour juger quelle ſituation prendra l'aiguille, en quelque lieu autour de l'aimant qu'on fixe le pivot *c*.

Si donc il y avoit quelque part un très-grand aimant A B, les aiguilles aimantées poſées autour de lui, prendroient en chaque endroit une certaine ſituation, comme nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre: ou ſi la terre elle-même étoit cet aimant, on comprendroit pourquoi les aiguilles aimantées ſe diſpoſent par-tout ſelon une certaine direction. Auſſi les phyſiciens, pour expliquer ce phénomêne, ſoutiennent que toute la

terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques - uns d'entr'eux prétendent qu'il se trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui éxerce sa force sur toutes les aiguilles aimantées, & même sur tous les aimants qui se trouvent sur la surface de la terre, & que c'est cette force qui les dirige en chaque lieu selon les mêmes directions que nous y observons.

Mais nous n'avons pas besoin de recourir à un aimant caché dans les entrailles de la terre: sa surface est tellement remplie de mines de fer & d'aimants, que leur force réunie peut bien suppléer au défaut de ce grand aimant. En effet, on tire tous les aïmans des mines, marque bien sûre que ces minéraux se trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre, & que toutes leurs forces réunies fournissent la force générale, qui produit tous les phénomènes magnétiques. Nous sommes aussi en état d'expliquer par-là, pourquoi la déclinaison magnétique change avec le tems dans le même endroit; car on sait que les mines de tous les métaux sont assujetties à des changemens continuels & particuliérement celles de fer, auxquelles se rapportent les aimants: Tantôt il s'engendre du fer dans un endroit, tantôt il s'y détruit; desorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer, où il n'y en eut point autrefois; & où l'on en trouvoit autrefois en abondance, on ne trouve presque

plus rien aujourd'hui. Cela prouve suffisamment que la masse totale des aimants renfermés dans la terre, souffre des changemens très-considérables, d'où sans-doute les poles, sur lesquels se règle la déclinaison magnétique, changent aussi avec le tems.

C'est donc ici qu'il faut chercher pourquoi les déclinaisons magnétiques sont sujettes à des changemens si considérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raison, fondée sur l'inconstance de ce qui se passe dans ses entrailles, ne nous laisse aucune espérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaison magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changemens de la terre à quelque loi fixe. Une longue suite d'observations, continuée pendant plusieurs siécles, pourroit peut-être nous fournir des éclaircissemens là-dessus.

le 20 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIV.

CEUX qui prétendent que la terre renferme dans son sein un grand aimant, comme un noyau, sont obligés de dire, pour expliquer la déclinaison magnétique, que ce noyau change successivement de situation. Il faudroit alors qu'il fût détaché de la terre dans toutes

ſes parties; & comme, ſans-doute, ſon mouvement ſuivroit une certaine loi, nous pourrions eſpérer de la découvrir un jour. Mais ſoit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans la terre, ſoit que les aimans diſperſés dans ſon ſein réuniſſent leurs forces pour produire les phénomènes magnétiques, on peut toujours regarder la terre même comme un aimant, ſelon lequel ſe dirigent tous les aimants particuliers & toutes les aiguilles aimantées.

Quelques phyſiciens ont renfermé un aimant d'une très-grande force dans un globe, & ayant placé ſur ſa ſurface une aiguille aimantée, ils y ont obſervé des phénomènes ſemblables à ceux qui ont lieu ſur la terre après avoir placé l'aimant dans le globe de pluſieurs façons diférentes. Or en conſidérant la terre comme un aimant, elle aura ſes poles magnétiques, qu'il faut bien diſtinguer des poles naturels, autour deſquels elle tourne: ces diférens poles n'ont rien de commun entr'eux, que le nom, mais c'eſt de la poſition des poles magnétiques à l'égard des naturels, que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaiſon magnétique, & en particulier des lignes tracées ſur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à V. A.

Pour mieux éclaircir cette matiére, je remarque que ſi les poles magnétiques tomboient préciſément dans les poles naturels, il n'y auroit point de déclinaiſon ſur la terre; les aiguilles aimantées ſeroient préciſément dirigées

par-tout du nord vers le ſud, & leur poſition ſeroit préciſément la même que celle de la ligne méridienne. Ce ſeroit ſans-doute un très-grand avantage pour la navigation, puiſqu'on connoîtroit alors éxactement la route du vaiſſeau & la direction du vent: au lieu qu'à préſent, on doit toujours chercher la déclinaiſon de la bouſſole, avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais la bouſſole n'apporteroit alors aucun ſecours pour la détermination des longitudes, but auquel la déclinaiſon pourroit bien conduire un jour.

On peut en conclure que ſi les poles magnétiques de la terre diféroient de beaucoup des poles naturels, & qu'ils fuſſent directement oppoſés l'un à l'autre, ce qui arriveroit ſi l'axe magnétique de la terre, (c'eſt la ligne droite tirée par les deux poles magnétiques) paſſoit par le centre de la terre, alors les aiguilles aimantées ſe dirigeroient par-tout vers ces poles magnétiques, & il ſeroit bien aiſé d'aſſigner pour tous les lieux la direction magnétique. On n'auroit qu'à tirer, par chaque lieu, un cercle qui paſſât en même tems par les deux poles magnétiques, & l'angle que feroit ce cercle avec le méridien du même lieu, donneroit la déclinaiſon magnétique.

Dans ce cas les deux lignes ſous leſquelles la déclinaiſon eſt nulle, ſeroient des méridiens tirés par les poles magnétiques. Mais puiſque nous avons vû qu'actuellement ces deux lignes ſans déclinaiſon, ne ſont point des méridiens,

& qu'elles font un tour fort bizarre, on voit bien que ce cas n'a point lieu ſur la terre. Halley a bien reconnu cette conſéquence, & s'eſt cru obligé par-là de ſuppoſer un double aimant dans les entrailles de la terre, l'un fixe & l'autre mobile ; en conſéquence il a établi quatre poles ſur la terre, dont deux ſe trouvent près du pole boréal & les deux autres près du pole méridional, à diſtances inégales. Mais cette concluſion me paroît un peu hazardée : il ne s'enſuit pas de ce que les lignes ſans déclinaiſon ne ſont point des méridiens, qu'il y ait quatre poles magnétiques ſur la terre : mais plutôt qu'il n'y en a que deux qui ne ſont pas directement oppoſés l'un à l'autre, ou ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne paſſe point par le centre de la terre.

Il reſte donc encore à conſidérer les cas où ces deux poles magnétiques ne ſont pas directement oppoſés, & où l'axe magnétique ne traverſe pas la terre par ſon centre ; car en embraſſant l'hypothèſe du noyau magnétique dans la terre, pourquoi l'un des poles magnétiques ſeroit-il préciſément à l'oppoſite de l'autre ? Il ſe pourroit bien que ce noyau ne ſe trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fut à quelque diſtance du centre. Or dès que les poles magnétiques ne ſont plus oppoſés diamétralement l'un à l'autre, les lignes, ſous leſquelles la déclinaiſon eſt nulle, prennent effectivement un tour ſemblable à celui

qu'on a conclu par les obſervations ; il eſt même poſſible d'aſſigner aux deux poles magnétiques de telles places ſur la terre, que non-ſeulement ces lignes ſeroient d'accord avec les obſervations, mais auſſi pour tous les dégrés de déclinaiſon, tant occidentale qu'orientale, on trouve préciſément des lignes ſemblables à celles qui nous ont d'abord parû ſi bizarres.

Pour connoître l'état de la déclinaiſon magnétique, il ne s'agit donc que de fixer les deux poles magnétiques, & alors c'eſt un problême de géomètrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, tirées pour tous les lieux où la déclinaiſon eſt la même. C'eſt par ce moyen encore qu'on ſeroit en état de rectifier ces lignes & de remplir des contrées, où les obſervations nous manquent; & ſi l'on pouvoit pour tous les tems à venir, aſſigner les lieux des deux poles magnétiques ſur la terre, ce ſeroit ſans-doute la plus belle ſolution du problême des longitudes.

On n'a donc point beſoin d'un double aimant dans la terre, ou des quatre poles magnétiques, pour expliquer les phénomènes de la déclinaiſon magnétique, comme le grand Halley l'a cru, mais d'un ſimple aimant ou des deux poles magnétiques, pourvû qu'on aſſigne à chacun ſa juſte place. Il me ſemble que, par cette réflêxion, nous ſommes beau-

coup plus avancés dans notre connoiſſance ſur le magnétiſme.

le 24 Octobre 1761.

LETTRE CLXXV.

V. A. voudra bien ſe ſouvenir que lorſque nous frottames une aiguille ſur un aimant, elle en acquit non-ſeulement la propriété de ſe diriger vers un certain point l'horizon, mais que ſon bout boréal deſcendit comme s'il fut devenu plus peſant, ce qui nous obligea d'en ôter quelque choſe ou d'ajouter au bout oppoſé, pour remettre l'aiguille en équilibre. J'ai fait, en ne mettant point ce moyen en uſage, pluſieurs expériences pour m'aſſurer juſqu'où la force magnétique fait deſcendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, & j'ai trouvé qu'il baiſſoit juſqu'à faire un angle de 72 dégrés avec l'horizon, & qu'à cette ſituation, l'aiguille reſtoit en repos; il eſt bon de remarquer que j'ai fait ces expériences à Berlin, il y a environ ſix ans; car je ferai voir dans la ſuite que cette ſituation ſous l'horizon eſt auſſi variable que la déclinaiſon magnétique.

Nous voyons par-là que la force magnétique éxerce un double effet ſur les aiguilles; l'un dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon dont l'éloignement de la ligne mé-

ridienne eſt ce qu'on nomme la déclinaiſon magnétique, l'autre lui imprime une inclinaiſon vers l'horizon, en faiſant baiſſer l'un ou l'autre bout au-deſſous, juſqu'à un certain angle.

Soit *Tab. II. fig. 5. de* la ligne horizontale tirée ſelon la déclinaiſon magnétique, & l'aiguille prendra à Berlin la ſituation *ba* qui fait avec l'horizon *de* l'angle *dcb* ou *eca*, qui eſt 72°, & par conſéquent avec la verticale *fg*, un angle *bcg*, ou *acf* de 18 dégrés. Ce ſecond effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaiſon avec l'horizon, eſt auſſi remarquable que le premier; & comme le premier eſt nommé la déclinaiſon magnétique, le ſecond eſt connu ſous le nom d'inclinaiſon magnétique, qui mériteroit autant que la déclinaiſon, d'être obſervée par-tout, avec tous les ſoins poſſibles, puiſqu'on y trouve une auſſi grande variété.

L'inclinaiſon a été trouvée à Berlin de 72°, à Basle ſeulement de 70°, le bout boréal de l'aiguille étant baiſſé & l'autre par conſéquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées comme plus proches du pole magnétique boréal de la terre; & plus nous en approchons, plus l'inclinaiſon de l'aiguille devient grande, ou s'approche de la ligne verticale; deſorte que ſi nous pouvions arriver à ce pole même, l'aiguille y prendroit effectivement la ſituation verticale, ſon bout boréal

étant tourné en bas & le méridional en haut. Plus au contraire on s'éloigne du pole boréal magnétique de la terre, en s'approchant du méridional, plus l'inclinaiſon diminue; elle diſparoîtra enfin, & l'aiguille prendra une ſituation horizontale, quand on ſe trouvera à des diſtances égales des deux poles; mais en s'approchant davantage du pole méridional de la terre, ce ſera le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus-en-plus ſous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-deſſus, juſqu'à ce que, dans ce pole même, l'aiguille devienne derechef verticale, tournant ſon bout méridional en bas & le boréal en haut.

Il ſeroit bien à ſouhaiter, qu'on fit partout des expériences auſſi ſoigneuſes pour déterminer l'inclinaiſon magnétique, qu'on l'a fait pour la déclinaiſon; mais on a trop négligé juſqu'ici cet important article de la phyſique expérimentale, qui n'eſt pas certainement moins curieux, ni moins intéreſſant, que celui de la déclinaiſon. Il n'en faut pas être ſurpris, cette eſpèce d'expérience eſt ſujette à trop de difficultés, & prèſque toutes les maniéres qu'on a imaginées juſqu'ici pour obſerver l'inclinaiſon magnétique ont manqué de ſuccès: il n'y a qu'un artiſte de Basle nommé Diterich, qui ait réuſſi, après avoir conſtruit une machine propre à ce deſſein, ſuivant les vues du célèbre Mr. *Daniel Bernoulli*. Il m'avoit envoyé deux de ces machines, par le moyen deſquelles j'ai obſervé ici cette in-

clinaiſon de 72 dégrés, & quelque curieux que ſoient d'ailleurs les Anglois & les François ſur ces ſortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de Mr. *Diterich*, quoiqu'elle ſoit la ſeule propre à ce deſſein. Cet éxemple nous fait voir, combien les préjugés ſont capables d'arrêter les progrès des ſciences; & c'eſt ce qui eſt cauſe que Basle & Berlin ſont les ſeuls endroits ſur la terre où l'on connoiſſe l'inclinaiſon magnétique.

Les aiguilles faites pour les bouſſoles ne ſont pas abſolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaiſon magnétique, quoiqu'elles en indiquent l'effet en gros, parceque le bout boréal devient plus peſant dans nos contrées; pour faire uſage d'aiguilles deſtinées à nous découvrir la déclinaiſon, nous ſommes obligés de détruire l'effet de l'inclinaiſon, en rendant le bout boréal plus léger ou le bout méridional plus peſant. Pour ramener l'aiguille dans la ſituation horizontale, on ſe ſert ordinairement du dernier remède, & on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais V. A. comprend aiſément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire eſt d'une certaine grandeur, & que ſi nous voyageons avec une telle aiguille vers le pole boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire augmentera, & que pour empêcher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire ſur le bout méridional. Mais ſi nous voyageons vers le midi, & que nous approchions de l'autre pole de la

terre, où la force inclinatoire ſur le bout boréal de l'aiguille diminue, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout, l'ôter enſuite tout-à-fait, parcequ'elle eſt inutile, ſi l'on parvient à des endroits où l'inclinaiſon magnétique s'évanouït. De-là ſi on approche davantage du pole méridional le bout méridional de l'aiguille eſt pouſſé en-bas, de maniére que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'eſt de ce moyen qu'on ſe ſert dans les grands voyages, pour maintenir la bouſſole dans une ſituation horizontale.

Il faudroit avoir pour obſerver l'inclinaiſon magnétique des inſtrumens faits exprès, & ſemblables à celui que l'artiſte de Basle a inventé; on nomme cet inſtrument *inclinatoire*, mais il n'y a pas apparence, qu'on en faſſe ſi-tôt uſage.* Encore moins pouvons nous eſpérer, qu'on faſſe bientôt des cartes ſur l'inclinaiſon magnétique, ſemblables à celles où l'on nous a repréſenté la déclinaiſon: on pourroit bien ſuivre la même méthode, & tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaiſon magnétique ſera la même, deſorte qu'on auroit des lignes ſans inclinaiſon, enſuite d'autres lignes où l'inclinaiſon ſeroit de 5°, 10°, 15°, 20°, &c. tant vers le nord que vers le ſud.

le 27 d'Octobre 1761.

* Depuis, à l'occaſion du dernier paſſage de Vénus audevant du diſque du ſoleil, Mrs. Mallet & Pictet de Genève, appellés à obſerver ce paſſage en Laponie, ont fait uſage de cet inclinatoire, & ont trouvé au mois de May de l'année 1769, l'inclinaiſon magnétique d'abord à St. Pétersbourg de 73°, 40'; & enſuite en Laponie à Kola de 77°, 45'; à Oumba de 75°, 10', & à Panoi de 76°, 30'.

LETTRE CLXXVI.

POUR se former une juste idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard tant à la déclinaison qu'à l'inclinaison des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre; nous savons qu'à Berlin la déclinaison est de 15°, vers l'occident; & que l'inclinaison au bout boréal est de 72°. En considérant ce double effet, la déclinaison & l'inclinaison, on aura la véritable direction magnétique; ainsi pour savoir la véritable direction magnétique pour Berlin, on tirera d'abord sur un plan horizontal une ligne qui fasse avec la méridienne un angle de 15°, vers l'occident, & de-là, descendant vers la ligne verticale, on tracera une nouvelle ligne qui fasse un angle de 72° avec celle-là; & celle-ci nous montrera la direction magnétique pour Berlin, d'où V. A. comprend, comment on devroit assigner pour tout autre endroit la direction magnétique, pourvu qu'on en connût l'inclinaison & la déclinaison.

Chaque aimant nous découvre des phénomènes tout-à-fait semblables, on n'a qu'à le mettre sur une table couverte de limaille de fer, & l'on verra que la limaille se disposera autour de l'aimant B A, à-peu-près comme la *fig. 6. Tab. II.* le représente, où chaque parcelle de limaille peut être regardée comme une petite aiguille aimantée, qui nous fait voir en chaque point

autour de l'aimant, la direction magnétique. Cette expérience nous conduit à chercher la cause de tous ces phénomènes.

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer, ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matiére subtile & invisible qui enfile les parcelles de la limaille, & qui les dispose dans la direction que nous voyons. Il est également clair que cette matiére subtile traverse l'aimant même, entrant par l'un des poles, & sortant par l'autre : desorte qu'elle forme par son mouvement continuel autour de l'aimant, un tourbillon qui reconduit la matiére subtile d'un pole à l'autre, & ce mouvement est sans-doute extrêmement rapide.

La nature des aimans consiste donc dans un tourbillon continuel, ce qui les distingue de tous les autres corps ; & la terre elle-même, en qualité d'aimant, sera entourée d'un tourbillon pareil, qui agit par-tout sur les aiguilles aimantées, & fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction, qui est la même que j'ai nommée auparavant direction magnétique ; cette matiére subtile sort donc continuellement par l'un des poles magnétiques de la terre, & après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pole, elle y rentre & la traverse dans toute son épaisseur, jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pole.

On ne sauroit décider encore par lequel des deux poles magnétiques de la terre, elle entre ou sort ; les phénomènes qui en dépendent,

ſe reſſemblent ſi parfaitement, qu'on ne ſauroit les diſtinguer. C'eſt ſans-doute auſſi ce tourbillon général de la terre qui fournit la matiére ſubtile à tous les aimants partiaux & au fer ſoit acier aimanté, & qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matiére ſubtile & ſon mouvement, il faut remarquer qu'elle n'agit que ſur les aimants, le fer & l'acier; tous autres corps lui ſont abſolument indiférens; il faut donc qu'elle ſe trouve dans une autre rélation à leur égard qu'à celui des autres. Pluſieurs expériences nous obligent à ſoutenir que cette matiére ſubtile traverſe librement tous les autres corps & même en tous ſens: car, quand un aimant agit ſur une aiguille, l'action eſt parfaitement la même, qu'on mette quelques corps entr'eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne ſoit pas du fer, & ſon action eſt la même ſur la limaille de fer. Il faut donc que cette matiére ſubtile traverſe tous les corps, excepté le fer, auſſi librement que l'air, & même le pur éther, puiſque ces expériences réuſſiſſent également dans un eſpace vuidé d'air par la machine pneumatique. Cette matiére ſubtile eſt par conſéquent diférente de l'éther, & même beaucoup plus ſubtile. Et, à cauſe du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle environne toute la terre, traverſant librement toute la maſſe, comme les autres corps, à l'exception du fer & des

aimants:

aimants : & c'eſt pour cela qu'on pourroit nommer le fer & l'acier des corps magnétiques, pour les diſtinguer des autres.

Mais ſi la matiére magnétique paſſe librement à travers de tout corps non-magnétique, quel rapport auroit-elle avec ceux qui le ſont ? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des poles de chaque aimant, & ſort par l'autre, d'où l'on pourroit conclurre qu'il traverſe auſſi librement les aimants ; ce qui ne le diſtingueroit pas des autres. Mais quand la matiére magnétique ne traverſe les aimants que d'un pole à l'autre, c'eſt une circonſtance bien diférente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère diſtinctif. Les corps non magnétiques ſont traverſés librement par la matiére magnétique en tout ſens : les aimants n'en ſont traverſés que dans un ſeul ſens, l'un des poles étant deſtiné à l'entrée & l'autre à la ſortie. Mais le fer & l'acier, aimantés, n'en ſont traverſés que dans un ſeul ſens, ſelon la nature des poles magnétiques, & quand ces corps ne ſont pas encore aimantés, on peut dire qu'ils n'accordent point un paſſage libre à la matiére magnétique dans aucun ſens.

Cela paroît étrange, puiſque le fer a des pores ouverts, qui tranſmettent l'éther même, qui n'eſt pourtant pas ſi ſubtil que la matiére magnétique. Mais il faut bien diſtinguer un paſſage ſimple, d'un autre où la matiére magné-

tique puiſſe traverſer le corps avec toute ſa rapidité ſans rencontrer aucun obſtacle.

le 31 *d'Octobre* 1761.

LETTRE CLXXVII.

Il s'en faut bien, que je prétende expliquer parfaitement les phénomênes du magnétiſme ; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans ceux de l'électricité. La cauſe en eſt, ſans-doute, que l'électricité conſiſte dans un trop grand ou trop petit dégré de compreſſion d'un fluide ſubtil qui occupe les pores des corps, ſans que ce fluide ſubtil, qui eſt l'éther, ſe trouve dans un mouvement actuel, mais le magnétiſme ne ſauroit être expliqué, ſans ſuppoſer un tourbillon rapidement agité, qui pénètre les corps magnétiques.

La matiére qui conſtitue ces tourbillons eſt auſſi beaucoup plus ſubtile que l'éther, & traverſe librement les pores des aimants qui ſont impénétrables à l'éther même. Or cette matiére magnétique eſt répandue & mêlée dans l'éther comme l'éther avec l'air groſſier, ou ainſi qu'il occupe & remplit les pores de l'air, on peut dire, que la matiére magnétique eſt renfermée dans les pores même de l'éther.

Je conçois donc que l'aimant & le fer ont des pores ſi petits, que l'éther tout entier n'y ſauroit

entrer & qu'il n'y a que la matiére magnétique qui puisse les pénètrer, & qui, en y entrant, se sépare de l'éther, desorte qu'il s'y fait, pour ainsi dire, une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matiére magnétique se trouve toute pure; par-tout ailleurs elle est mêlée & dispersée par l'éther, comme l'éther lui-même l'est par la masse de l'air.

V. A. imaginera aisément plusieurs fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, & qui sont parfaitement mêlés ensemble. La nature nous en offre des éxemples précis. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air, que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; il n'y a plus de doute encore que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, & qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme dans l'électricité. Nous voyons à présent que cette progression va plus loin, & que l'éther contient encore une matiére beaucoup plus subtile; c'est la matiére magnétique, qui peut-être en renferme d'autres encore plus subtiles, cela n'est du moins pas impossible.

Après avoir établi cette matiére magnétique, voyons comment elle produit ses phénomênes. Je considère d'abord un aimant, & je dis, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, il en contient encore de beaucoup plus étroits, où la matiére magnétique seule peut entrer. En

ſecond lieu, que ces pores ſont diſpoſés de maniére à avoir une communication entr'eux, & conſtituent des tuyaux ou canaux, par leſquels elle paſſe d'un bout à l'autre. Enfin, que cette matiére ne ſauroit paſſer par ces tuyaux que dans un ſens, ſans pouvoir retourner dans le ſens contraire: cette circonſtance, très-eſſentielle, demande un plus grand éclairciſſement.

Je remarque donc d'abord, que les veines & les vaiſſeaux lymphatiques dans les corps des animaux, ſont des tuyaux d'une conſtruction ſemblable, qui renferment des ſoupapes, repréſentées dans la *fig. 7. Tab. II.* par les traits *mn*, dont la fonction eſt, que tant que le ſang coule de A vers B, elles ſe lèvent & lui accordent un libre paſſage, mais qui l'empêchent de refluer de B vers A.

Car ſi le ſang vouloit couler de B vers A, il pouſſeroit le bout libre de la ſoupape *m* vers le côté *o* de la veine & la ſoupape fermeroit le paſſage entiérement; on ſe ſert ainſi de ſoupapes dans les conduits d'eau, pour empêcher qu'elle ne puiſſe retourner. Je crois donc de ne rien ſuppoſer qui ſoit contraire à la nature, quand je dis que les canaux, dans les aimants, qui n'admettent que la matiére magnétique, ſont de la même conſtruction.

La *fig. 8. Tab. II.* repréſente ce canal magnétique, comme je l'imagine. Je le conçois garni en-dedans de poils dirigés de A vers B, qui n'oppoſent aucun obſtacle à la matiére magné-

tique, quand elle paſſe de A vers B, puiſqu'alors ils s'ouvrent d'eux-mêmes en *n*, pour laiſſer paſſer la matiére en *o*; mais ils fermeroient d'abord le paſſage, ſi elle vouloit rétrograder de B vers A. La nature des canaux magnétiques conſiſte donc à ne permettre d'entrée à la matiére magnétique qu'au bout A, pour couler vers B, ſans aucun empêchement, ſans qu'il ſoit poſſible qu'elle les traverſe en ſens contraire de B vers A.

Cette conſtruction nous met en état d'expliquer comment la matiére magnétique entre dans ces tuyaux, & les traverſe avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier eſt dans un repos parfait, ce qui eſt le plus ſurprenant: car qui peut produire un mouvement ſi rapide? C'eſt ce qui paroîtra très-clair à V. A., ſi elle veut bien ſe ſouvenir que l'éther eſt une matiére extrêmement élaſtique; ainſi la matiére magnétique, qui eſt diſperſée, en ſera preſſée de toutes parts. Que le canal magnétique AB ſoit encore tout-à-fait vuide, & qu'il ſe trouve à l'entrée A une molécule de matiére magnétique *m*, qui ſoit preſſée de toute part où elle touche le canal, où l'éther ne ſauroit entrer, elle y ſera pouſſée avec la plus grande force; elle y entrera donc avec la même rapidité; bientôt une autre molécule de matiére magnétique, dont l'éther eſt copieuſement chargé, s'y préſentera encore & y ſera pouſſée avec la même force; & ainſi des molécules ſuivantes; il en réſultera donc un flux conti-

nuel de matiére magnétique qui, ne rencontrant aucun obſtacle dans ce canal, ſortiroit en B avec la même rapidité qu'il entre en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de ces canaux que je nomme magnétiques, & il s'enſuit très-naturellement, que la matiére magnétique diſperſée par l'éther, doit y entrer par un bout & ſortir par l'autre avec impétuoſité; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matiére magnétique par les canaux de l'aimant: j'eſpère avoir ſurmonté parlà les plus grands obſtacles qui puiſſent ſe rencontrer dans la théorie du magnétiſme.

le 3 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXVIII.

V. A. a vu en quoi conſiſte le caractère diſtinctif des aimants, & que chaque aimant eſt pourvu de pluſieurs canaux dont je viens de donner la deſcription.

La *fig.* 1. *Tab. III.* repréſente un aimant AB avec trois canaux magnétiques *ab*, par leſquels la matiére magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en entrant par les bouts *a*, & ſortant par ceux *b*: elle en ſortiroit bien avec la même rapidité, mais rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air groſſier, de grands obſtacles s'oppoſeront à la continuation de ſon

mouvement ſelon ſa direction, & non-ſeulement ſon mouvement ſera rallenti, mais ſa direction détournée vers les côtés *c c*. Il en ſera de même à l'entrée, vers les bouts *a a a*, à cauſe de la rapidité avec laquelle les molécules de matiére magnétique y entrent, le tour viendra bientôt à celles qui ſont encore vers les côtés *e e*, qui à leur tour ſeront remplacées par celles qui, ſorties des bouts *b b b*, ont été déja détournées vers *c c*, enſorte que bientôt, la même matiére magnétique ſortie par les bouts *b b b* retourne vers ceux *a a a* en faiſant le tour *b c d e a*; & ce mouvement autour de l'aimant, ſera ce que nous nommons *tourbillon magnétique*.

Il ne faut pourtant pas s'imaginer que ce ſoit toujours la même matiére magnétique, qui forme ces tourbillons; une bonne partie s'en échappera ſans-doute, tant vers B que vers les côtés, en faiſant le tour; mais, en récompenſe, il entrera par les bouts *a a a* de nouvelle matiére magnétique, deſorte que la matiére qui conſtitue le tourbillon, eſt compenſée & bien variable; il ſe conſervera cependant toujours un tourbillon magnétique, dont l'aimant ſera entouré, & qui produit les phénomènes obſervés ci-deſſus dans la limaille de fer, qu'on jette autour de l'aimant.

V. A. voudra bien faire attention que le mouvement de la matiére magnétique dans le tourbillon, eſt incomparablement plus lent hors de l'aimant, que dans les tuyaux magnétiques où

elle eſt ſéparée de l'éther, après y avoir été pouſſée par toute la force élaſtique de ce dernier; & qu'en ſortant, elle s'y mêle de nouveau, & doit y perdre la plus grande partie de ſon mouvement, ce qui fait que ſa viteſſe pour rentrer par les bouts *a a a* eſt incomparablement moindre que dans les canaux magnétiques *ab*, quoique très-grande encore à notre égard. V. A. comprendra donc aiſément, que les bouts des canaux magnétiques, par leſquels la matiére entre & ſort de l'aimant, ſont ce que nous nommons ſes poles, & que les poles magnétiques d'un aimant ne ſont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les bouts des canaux magnétiques aboutiſſent, étant un pole magnétique, comme dans l'aimant repréſenté *fig. 6. Tab. II.* où toutes les ſurfaces A & B ſont les deux poles.

Or comme ces poles ſont diſtingués en boréal & méridional, on ne ſauroit dire ſi c'eſt par le boréal ou le méridional, que la matiére magnétique entre dans les aimants. V. A. verra dans la ſuite, que tout phénomêne produit par l'entrée & la ſortie, ſe reſſemble ſi parfaitement, qu'il paroît impoſſible de décider cette queſtion par les expériences. Il ſera donc indiférent de ſuppoſer, que la matiére magnétique entre ou ſorte par le pole boréal, ou par le méridional.

Quoiqu'il en ſoit, je déſignerai par la lettre A, le pole où la matiére magnétique entre, & par B, celui où elle ſort, ſans me ſoucier le-

quel eſt boréal ou méridional. Je paſſe à ces tourbillons, pour juger comment deux aimants agiſſent l'un ſur l'autre.

Suppoſons, *Tab. III. fig.* 2. que deux aimants AB & *ab* ſe regardent par les poles de même nom A, *a*, & leurs tourbillons ſeront tout-à-fait contraires entr'eux. La matiére magnétique qui eſt en C entrera par A & par *a*, & ces deux tourbillons tâchant de ſe détruire l'un l'autre, la matiére qui avance par E pour rentrer en A rencontrera en D celle de l'autre aimant, qui revient par *e* pour rentrer en *a*; il devra naître un choc entre les deux tourbillons où l'un repouſſera l'autre; & cet effet réjaillit ſur les aimants mêmes, qui, dans cette ſituation, ſe repouſſent l'un l'autre. La même choſe arriveroit ſi les deux aimants ſe regardoient par les autres poles B & *b*; c'eſt pourquoi on nomme les poles du même nom *ennemis*, parcequ'ils ſe repouſſent actuellement.

Mais s'ils ſe regardent par les poles de diférent nom, il s'enſuivra un effet contraire & V. A. voit déja, qu'ils doivent s'attirer.

Dans la *fig.* 3. *Tab. III.* où les deux aimants ſe regardent par les poles B & *a*, la matiére magnétique qui ſort par le pole B, trouvant d'abord la commodité d'entrer dans l'autre aimant par ſon pole *a*, ne ſe détournera point vers les côtés pour rentrer en A, mais paſſera directement par C dans l'autre aimant, pour en ſortir en *b*, & faire le tour par les côtés *d d* pour retourner, non pas au pole *c*, mais à ce-

lui A de l'autre aimant, en faiſant le tour par *e* & *f*. Ainſi les tourbillons de ces deux aimants ſe réuniront en un ſeul, comme s'il n'y avoit qu'un aimant; & ce tourbillon étant comprimé de toutes parts par l'éther, pouſſera les deux aimants l'un vers l'autre, tellement qu'ils paroîtront s'attirer mutuellement.

Voilà pourquoi les poles de diférens noms ſont appellés *amis*, & ceux du même nom *ennemis*, phénomêne principal des aimants, en ce que les poles de diférens noms s'attirent & ceux du même nom ſe repouſſent.

le 7 Novembre 1761.

LETTRE CLXXIX.

APRÈS avoir établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matiére magnétique peut traverſer dans un ſeul ſens, parceque les ſoupapes, dont ces canaux ſont parſemés, empêchent le retour en ſens contraire, V. A. ne doutera point qu'ils ſont la continuation de ces pores *fig.* 8. *Tab. II.* dont les poils *n* ſont dirigés en même ſens, deſorte que pluſieurs ſemblables particules étant jointes enſemble & dirigées en même ſens conſtituent un canal magnétique. Il ne ſuffit donc pas que la matiére de l'aimant renferme pluſieurs particules ſemblables, il faut encore qu'elles ſoient diſpoſées

enſorte qu'il en réſulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matiére magnétique puiſſe les traverſer.

Il y a donc apparence que le fer & l'acier contiennent de ces particules en grande abondance, qui ne ſont pas diſpoſées comme je viens de les décrire, mais diſperſées par toute la maſſe, & qu'il n'y manque que cette diſpoſition pour être de vraîs aimants. Ils conſervent bien alors toutes leurs autres qualités, & ne ſe diſtinguent des autres morceaux de fer & d'acier, que parcequ'ils ont de plus les propriétés de l'aimant; une aiguille & un couteau, avec ou ſans vertu magnétique, rendent les mêmes ſervices. Le changement qui ſe fait dans l'intérieur en rangeant les particules dans l'ordre qu'éxige le magnétiſme, ne ſauroit être remarqué par dehors, & le fer ſoit acier qui a acquis la force magnétique, eſt nommé aimant artificiel, pour le diſtinguer de l'aimant naturel, qui reſſemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques ſoient les mêmes dans les uns & dans les autres. V. A. ſera ſans-doute curieuſe d'apprendre de quelle maniére le fer & l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, & devenir des aimants artificiels? Rien n'eſt ſi ſimple, & le voiſinage d'un aimant eſt capable de rendre le fer un peu magnétique; c'eſt le tourbillon magnétique qui produit cet effet, ſans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paroiſſe le fer, les

particules qui renferment les pores magnétiques représentés ci-dessus, sont très-mobiles dans sa substance & la moindre force suffit pour changer leur situation. La matiére magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, disposera donc aisément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre, suivant sa direction, au moins ceux dont la situation n'est pas fort diférente; & les ayant traversés, elle agira de la même maniére sur les pores suivans: jusqu'à ce qu'elle se soit pratiqué un passage au travers du fer, & formé par-là quelques canaux magnétiques. La figure du fer contribue beaucoup à faciliter ce changement; une figure allongée & placée selon la direction du tourbillon, y est la plus propre, puisque la matiére magnétique en passant par toute la longueur, y dispose beaucoup de particules dans leur juste situation, pour former des canaux magnétiques plus longs, & il est sûr, que plus il y aura de quoi former des canaux, plus ils seront longs, sans interruption, & plus le mouvement de la matiére magnétique sera fort, & la force magnétique plus grande.

On a remarqué aussi que, lorsqu'on sécoue fortement, qu'on frappe le fer posé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut dégré de magnétisme, parce que les moindres particules sont ébranlées & déliées par ces secousses, pour se prêter plus facilement à l'action de la matiére magnétique qui les pénêtre.

Ainsi posant *Tab. III. fig.* 4. une petite barre

de fer *ab* dans le tourbillon de l'aimant A B, enſorte que ſa direction *ab* convienne à-peu-près avec celle du courant *d e f* de la matiére magnétique, elle traverſera aiſément la barre & y formera des canaux magnétiques, ſur-tout quand on ſécoue ou frappe cette barre en même tems, pour faciliter le paſſage. On voit auſſi que la matiére magnétique qui entre par le pole A & ſort par le pole B de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a* & ſortira par le bout *b*, deſorte que le bout *a* deviendra le pole du même nom A, & *b* de celui B. Otant puis cette barre *ab* du tourbillon magnétique, elle ſera un aimant artificiel, quoique bien foible, qui fournira ſon propre tourbillon & conſervera ſa force tant que les canaux magnétiques n'y ſeront point interrompus. Ce qui arrivera d'autant plus aiſément que les pores du fer ſont mobiles; ainſi la même circonſtance qui aide à produire le magnétiſme, ſert auſſi à le détruire. Un aimant naturel n'eſt pas autant ſujet à l'affoibliſſement, parceque ſes pores ſont beaucoup plus fermes, & qu'il faut des efforts plus conſidérables pour les déranger; j'en parlerai plus en détail dans la ſuite.

Je me propoſe d'expliquer ici la maniére la plus naturelle de rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert ſoit très-petite, cela nous ſervira à comprendre ce phénomêne remarquable & aſſez univerſel. On a obſervé que les pincettes de cheminée & autres meubles de fer qu'on tient ordinairement dans

une ſituation verticale, ainſi que les barres de fer qu'on met ſur les clochers, acquiérent avec le tems une force magnétique aſſez ſenſible; auſſi s'eſt-on apperçu qu'une barre de fer battue dans une ſituation verticale, ou rougie au feu, étant trempée dans l'eau froide dans la même ſituation, devient un peu magnétique, ſans l'approche d'aucun aimant.

Pour avoir la raiſon de ce phénomêne V. A. n'a qu'à ſe ſouvenir que la terre eſt elle-même un aimant, & conſéquemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaiſon & l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée montre partout la véritable direction; ſi donc une barre de fer ſe trouve long-tems dans cette ſituation, nous n'avons pas lieu d'être ſurpris qu'elle devienne magnétique. Nous avons vu auſſi, que l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée eſt à Berlin de 72 dégrés & comme dans prèſque toute l'Europe, elle eſt à-peu-près la même, cette inclinaiſon ne difère que de 18° de la ſituation verticale; ainſi la ſituation verticale ne difère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique: une barre de fer qu'on a tenu long-tems dans cette ſituation, ſera enfin pénètrée par le tourbillon magnétique, & doit acquérir par conſéquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaiſon eſt inſenſible, ce qui arrive près de l'équateur, ce n'eſt plus la même direction qui rend les barres de fer magnétiques, mais plutôt l'horizontale, enſorte que leur direction convienne avec

la déclinaiſon magnétique, ſi l'on veut qu'elles acquiérent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer, l'acier eſt trop dur pour cela, il faut employer des moyens plus éficaces pour le rendre magnétique.

le 10 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXX.

QUOIQUE la terre entiére puiſſe être conſidérée comme un grand aimant, & qu'elle ſoit environnée d'un tourbillon magnétique, qui dirigè par-tout les aiguilles aimantées, ſa force magnétique eſt pourtant très-foible & beaucoup moindre que celle d'un aimant très-médiocre, ce qui paroît fort étrange à cauſe de l'énorme grandeur de la terre.

C'eſt, ſans-doute, parceque nous ſommes très-éloignés des véritables poles magnétiques de la terre, qui, ſelon toute apparence, ſont enſévelis bien profondément: or, quelque fort que ſoit un aimant, ce n'eſt que très-près de lui que ſa force eſt conſidérable; & plus on s'en éloigne, plus elle devient petite & s'évanouït enfin. C'eſt pourquoi la force magnétique qu'acquiérent avec le tems des maſſes de fer ſituées convenablement dans le tourbillon de la terre, n'eſt que très-petite, & à peine ſenſible, à moins que le fer ne ſoit très-mol &

qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A.

Cet effet est beaucoup plus considérable près d'un aimant médiocre: de petites masses de fer y acquiérent bien vite une force magnétique très-sensible, aussi sont-elles attirées vers l'aimant, au lieu que cet effet est imperceptible dans le tourbillon de la terre, & ne consiste qu'à diriger les aiguilles aimantées, sans les attirer, ni augmenter leur poids.

Une masse de fer *Tab. III. fig.* 5. plongée dans le tourbillon d'un aimant, nous offre aussi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particuliére; non-seulement cette masse est d'abord attirée vers l'aimant, mais elle attire elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB un aimant naturel, dans le voisinage duquel près du pole B, on place la masse de fer CD, & l'on verra, qu'elle est capable de soutenir une barre de fer EF. Qu'on y applique en F une règle de fer GH, dans une situation quelconque, par éxemple horizontale, en la soutenant en H, & l'on s'appercevra qu'elle n'est pas seulement attirée par la barre en F mais qu'elle est encore capable de supporter en H des aiguilles comme IA, & que ces aiguilles agissent aussi sur de la limaille de fer L, en l'attirant.

On peut propager ainsi la force magnétique à des distances très-considérables, & même la faire changer de direction, par la diverse position

tion de ces piéces de fer, quoiqu'elle diminue de plus-en-plus. V. A. ſent bien, que plus l'aimant AB eſt ſort par lui-même & plus la premiére maſſe CD en eſt près, plus auſſi l'effet eſt conſidérable. Feu Mr. de Maupertuis avoit un gros aimant ſi excellent, qu'à la diſtance de pluſieurs pieds, la maſſe de fer CD éxerçoit encore une force très-conſidérable.

Pour expliquer ces phénomènes, V. A. n'a qu'à conſidérer que la matiére magnétique qui ſort rapidement par le pole B de l'aimant, entre dans la maſſe de fer & en diſpoſe les pores à former des canaux magnétiques, qu'elle traverſe enſuite librement. De même, en entrant dans la barre, elle ſe formera des canaux magnétiques & ainſi de ſuite. Et puiſque la matiére magnétique en ſortant d'un corps entre dans un autre, ces deux corps doivent s'attirer mutuellement, par la même raiſon que j'ai prouvé que deux aimants qui ſe regardent par leurs poles amis doivent s'attirer; & toutes les fois que nous voyons que deux fers s'attirent, nous pouvons conclurre ſûrement que la matiére magnétique qui ſort de l'un, entre dans l'autre, par le mouvement continuel avec lequel elle s'introduit dans ces corps. C'eſt ainſi que, dans la diſpoſition mentionnée des piéces de fer, la matiére magnétique les enfile toutes par ſon mouvement, ſeule raiſon de leur attraction mutuelle.

Les mêmes phénomênes arrivent encore, lorſqu'on tourne vers la maſſe de fer, l'autre

pole A de l'aimant, où entre la matiére magnétique : le mouvement devient alors rétrograde, & conſerve la même route ; car la matiére magnétique contenue dans la maſſe de fer, s'en échappera alors pour ſe précipiter dans l'aimant, & fera en s'échappant les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, que ſi elle entroit avec rapidité dans le fer. Il faut donc pour cela que le fer ſoit aſſez mol, & que ſes pores flêchiſſent aiſément, pour obéir aux efforts de la matiére magnétique. Une difficulté que V. A. trouvera ſans-doute, conſiſte à expliquer pourquoi la matiére magnétique, en entrant dans une autre piéce de fer, change de direction & ſe règle ſuivant la longueur des piéces, comme j'ai repréſenté ſon cours dans la figure ? C'eſt un article fort important dans la théorie du magnétiſme, & qui nous fait voir combien la figure des piéces de fer contribue à la production des phénomênes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonſtance, il faut ſe ſouvenir que notre matiére ſubtile ſe meut très-aiſément dans les pores magnétiques où elle eſt ſéparée de l'éther, & qu'elle rencontre des obſtacles très-conſidérables, lorſqu'elle s'échappe des pores magnétiques avec toute ſa viteſſe pour rentrer dans l'éther & dans l'air.

Suppoſons *Tab. III. fig. 6.* que la matiére magnétique, après avoir traverſé la barre de fer CD entre dans la règle de fer EF poſée perpendiculairement. Elle conſerveroit bien en entrant

la même direction pour sortir en *m*, si elle ne trouvoit pas une route plus aisée pour continuer son mouvement: mais rencontrant en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers F, où trouvant des pores propres à la continuation de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa premiére direction, pour traverser la règle EF dans toute sa longueur; & comme si la matiére magnétique évitoit de sortir du fer, elle tâche d'y continuer son mouvement tant qu'elle peut, en profitant de la longueur de la règle; mais elle sortiroit sans-doute en *m*, si la règle étoit très-courte. Or la longueur de la règle lui offrant un espace à parcourir, elle suit la direction EF, jusqu'à ce qu'elle soit obligée de s'échapper en F, où tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent plus que la matiére subtile près de F, puisse encore changer de direction & retourner le long de la règle; ces canaux étant non-seulement remplis de la matiére qui traverse, mais incapables par leur nature, de recevoir du mouvement en sens contraire.

le 14 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXI.

V. A. vient de voir comment le fer peut recevoir le courant magnétique d'un aimant, le conduire à des diſtances aſſez conſidérables, & même en changer la direction. Joindre un aimant à des piéces de fer, eſt donc à-peu-près la même choſe que l'agrandir, puiſque le fer acquiert la même nature à l'égard de la matiére magnétique; & comme on peut encore par ce moyen changer la direction du courant magnétique, puiſque les poles ſont les endroits où la matiére magnétique entre & ſort de l'aimant, on eſt maître de tranſporter les poles où l'on veut.

C'eſt ſur ce principe qu'eſt fondée l'armature des aimants, qui mérite bien que j'en donne une idée à V. A. puiſque les aimants ſont portés par-là à un plus haut dégré de force.

On donne ordinairement aux aimants, en les tirant des mines, *Tab. III. fig.* 7. la figure d'un parallelépipéde ou d'un parallélogramme rectangle avec une épaiſſeur comme A A B B, dont la face A A ſoit le pole où la matiére magnétique entre, & B B celui où elle ſort. Il eſt donc rempli ſelon la longueur A B des canaux magnétiques *a b*, que la matiére magnétique traverſe librement ſans mêlange d'aucun éther, avec la plus grande rapidité,

pouſſée par la force élaſtique de l'éther. Voyons maintenant de quelle maniére on eſt accoutumé d'armer un aimant pareil.

On applique à chaque face A A & B B *Tab. III. fig.* 8. où ſe trouvent les deux poles de l'aimant, des plaques de fer *a a* & *b b* terminées en bas en boutons 𝔄 & 𝔅; qu'on nomme les pieds; c'eſt ce qu'on appelle l'armature de l'aimant, & on dit alors qu'il eſt armé. Dans cet état, la matiére magnétique, qui ſeroit échappée par la face B B entre dans la plaque de fer *b b*, où la difficulté de s'échaper ſuivant ſa direction dans l'air, l'oblige de changer de direction & de couler le long de la plaque *b b* dans le pied 𝔅, où elle eſt bien obligée de ſortir, ne trouvant plus de fer pour continuer ſon mouvement. Il en eſt de même de l'autre côté, la matiére ſubtile y ſera conduite par le pied 𝔄, d'où elle paſſera par la plaque *a a* en changeant de direction pour entrer dans l'aimant & y parcourir les canaux magnétiques. Car la matiére ſubtile contenue dans la plaque entre d'abord dans l'aimant; elle eſt ſuivie par celle qui ſe trouve dans le pied 𝔄, remplacée à ſon tour par celle dedehors, qui y étant pouſſée par l'élaſticité de l'éther, pénètre le pied 𝔄 & la plaque *a a* avec une rapidité, dont la véhémence eſt capable d'y arranger les poles, & de former des canaux magnétiques.

L'on voit par-là que le mouvement doit être le même des deux côtés, avec cette difé-

rence, que la matiére magnétique entrera par le pied 𝔄 & ſortira par le pied 𝔅, deſorte que c'eſt dans ces pieds que ſe trouvent les poles de l'aimant armé; & comme les poles répandus auparavant par les faces A A & B B ſont à préſent réunis dans les baſes des pieds 𝔄 & 𝔅, il eſt très-naturel que la force magnétique doit être conſidérablement plus grande dans ces nouveaux poles.

Auſſi, dans cet état, le tourbillon magnétique ſe formera-t-il plus aiſément: la matiére magnétique qui ſort par le pied 𝔅 retournera facilement dans le pied 𝔄, en paſſant par C & le reſte du corps de l'aimant ne ſera plus entouré d'aucun tourbillon, ſi quelque peu de matiére magnétique n'échappe pas par la plaque *b b*, pour n'avoir pû changer ſi ſubitement: & s'il n'en entre quelque peu par la plaque *a a*, d'où naîtroit un foible tourbillon, qui conduiroit la matiére ſubtile immédiatement par la plaque *b b* en *a a*; cependant ſi l'armature eſt bien faite, ce ſecond tourbillon eſt prèſque inſenſible, & par conſéquent le courant entre les pieds eſt d'autant plus fort.

La règle principale pour bien armer les aimants, eſt de bien polir tant les deux faces A A & B B de l'aimant que les plaques de fer, deſorte qu'en les appliquant, elles touchent parfaitement l'aimant par-tout, la matiére ſubtile paſſant aiſément de l'aimant dans le fer, quand il n'y a point d'autre matiére entr'eux; mais s'il y avoit un vuide ou de l'air entre

l'aimant & les plaques, la matiére magnétique perdroit prèſque tout ſon mouvement, ſon cours ſeroit interrompu, & ne ſuffiroit plus pour ſe frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Le fer le plus mol & le plus doux eſt à préférer pour ces armatures, parceque ſes pores ſe plient & ſe rangent fort aiſément ſelon le courant de la matiére magnétique; auſſi ce fer paroit-il très-propre à faire changer ſubitement la direction du courant; il ſemble même que la matiére magnétique afecte d'y pourſuivre ſa route auſſi longtems qu'il eſt poſſible, & n'en ſort, que lorſqu'elle ne peut plus y continuer ſon mouvement: elle aime mieux faire de grands tours que de le quitter. Ce qui n'arrive pas dans l'aimant même, où les canaux magnétiques ſont déja formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéiſſent pas ſi aiſément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois ces canaux ſont formés dans l'acier, ils ſe maintiennent plus longtems, & conſervent leur force magnétique; tandis que le fer doux, quelque force qu'il ait éxercé dans ſa jonction avec un aimant, la perd prèſque tout-à-fait, dès qu'on l'en ſépare.

Il faut conſulter l'expérience pour les autres circonſtances de l'armature; on trouve quant aux plaques, que trop ou trop peu d'épaiſſeur ſont nuiſibles; mais d'ordinaire, les plaques les plus convenables ſont très-minces, ce qui

paroîtroit fort étrange, si nous ne savions pas que la matiére magnétique est beaucoup plus subtile que l'éther, & que, par conséquent, la plaque la plus mince est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

le 17 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXII.

C'EST donc aux pieds de son armature, qu'un aimant éxerce sa plus grande force, puisque ses poles y sont réunis; & chaque pied est capable de supporter un poids de fer, d'autant plus grand, que l'aimant est bon & excellent.

Ainsi *Tab. III. fig. 9.* un aimant A A B B armé de plaques de fer *a a* & *b b* terminées par les pieds 𝔄 & 𝔅, portera non-seulement par le pied 𝔄 la règle de fer CD, mais celle-ci en portera une autre plus petite GH, qui portera à son tour encore une aiguille IK, qui enfin attirera de la limaille de fer L; parceque la matiére magnétique enfile toutes ces piéces pour entrer dans le pole 𝔄; ou si c'étoit l'autre pole, par lequel la matiére magnétique sort de l'aimant, elle enfileroit de la même maniére les piéces CD, EF, GH, IK; or toutes les fois que la matiére, en sortant d'une piéce de fer, entre dans une autre, on

obſerve une attraction entre les deux piéces, ou plutôt elles ſont pouſſées l'une à l'autre par l'éther environnant, parce que le courant de la matiére magnétique entr'elles, diminue la preſſion de l'éther.

Quand on charge ainſi l'un des poles de l'aimant, ſon tourbillon ſouffre un changement de direction très-eſſentiel; car comme, ſans cette charge, la matiére magnétique qui ſort du pole 𝔅 en détournant ſon cours coule vers l'autre pole 𝔄, maintenant l'entrée dans ce pole étant ſuffiſamment fournie par les piéces ſoutenues, il faut bien que la matiére qui ſort du pole 𝔅 prenne un tout autre chemin qui la conduiſe enfin à la derniére piéce IK. Une portion en ſera ſans-doute auſſi portée vers la pénultiéme GH & vers les précédentes, puiſque les ſuivantes comme plus petites ne fourniſſent pas ſuffiſamment aux précédentes, mais toujours le tourbillon s'étendra juſqu'à la derniére. Par ce moyen, en proportionnant bien toutes ces piéces entr'elles, en longueur & en épaiſſeur, l'aimant eſt capable d'en porter beaucoup plus, que ſi on le chargeoit d'une ſeule piéce, où la figure entre auſſi principalement en conſidération. Mais pour lui faire porter la plus grande charge qu'il ſoit poſſible, il faut faire enſorte que les deux poles réuniſſent leurs forces.

Pour cet effet on applique *Tab. IV. fig.* 1. aux deux poles 𝔄 & 𝔅 un morceau de fer doux CD, qui touche parfaitement les baſes

des pieds, & dont la figure ſoit telle, que la matiére magnétique qui ſort par 𝔅, y trouve le paſſage le plus commode pour rentrer par l'autre bout 𝔄; un morceau de fer pareil s'appelle ſupport de l'aimant, & comme la matiére magnétique y entre en ſortant de l'aimant en 𝔅, & rentre dans l'aimant en 𝔄 en ſortant du ſupport, celui-ci ſera attiré aux deux poles à la fois, & y tiendra par conſéquent avec une très-grande force. Pour connoître celle que l'aimant y éxerce, on attache au ſupport par le milieu F un poids, qu'on augmente juſqu'à ce que l'aimant ne ſoit plus capable de le ſoutenir, & on dit alors que cę poids contrebalance la force magnétique de l'aimant: c'eſt ce que V. A. doit entendre quand on dit, que tel aimant porte dix livres, un autre trente livres &c. On prétend que le cercueil de Mahomet eſt porté par la force d'un aimant, ce qui ne ſeroit pas impoſſible, puiſqu'on a déja fait des aimants artificiels qui portent au-delà de 100 livres.

Un aimant garni de ſon ſupport, ne perd rien de la matiére magnétique, qui achève ſon tourbillon entier au-dedans de l'aimant & du fer, deſorte que rien n'en échappe dans l'air. Puis donc que le magnétiſme n'éxerce ſa force qu'autant que la matiére magnétique s'échape d'un corps pour rentrer dans l'autre, un aimant dont le tourbillon eſt fermé, ne devroit éxercer nulle-part de force magnétique: cependant quand on le touche ſur la plaque en *a*

avec la pointe d'une aiguille, on y ſent une forte attraction, parceque la matiére magnétique étant obligée de changer ſubitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, trouve une route plus commode en traverſant l'aiguille, qui par conſéquent ſera attirée à la plaque *a a*. Mais, par là même, le tourbillon ſera dérangé en-dedans, il ne coulera plus ſi copieuſement dans les pieds; & ſi l'on touche la plaque par pluſieurs aiguilles, ou qu'on y aplique des règles de fer plus fortes, on détruira tout-à-fait le courant des pieds & la force qui attire le ſupport s'évanouïra entiérement, deſorte qu'il ſera arraché ſans effort; on reconnoit par-là, que les pieds perdent leur force magnétique d'autant que l'aimant en éxerce en d'autres endroits, & l'on eſt en état d'expliquer par ce moyen pluſieurs phénomènes très-ſurprenans, qui, ſans la théorie, ſeroient abſolument inſolubles.

C'eſt ici la place de l'expérience qui nous montre qu'après avoir appliqué à un aimant armé ſon ſupport, on peut augmenter de jour en jour le poids qu'il eſt capable de porter, qui pourra ſurpaſſer enfin le double de celui qu'il avoit porté d'abord. Il faut donc faire voir comment la force magnétique peut augmenter avec le tems dans les pieds de l'armature. Le cas rapporté ci-deſſus du dérangement du tourbillon nous apprend, qu'au moment qu'on applique le ſupport, le courant de matiére magnétique eſt encore aſſez irrégulier, qu'une

bonne partie s'en échapera encore par la plaque *bb*, & que ce ne ſera qu'avec le tems qu'elle ſe frayera des canaux magnétiques par le fer; auſſi eſt-il probable que, lorſque le courant eſt devenu plus libre, il s'en formera de nouveaux dans l'aimant même, entant qu'il contient, outre ſes canaux fixes, des poles mobiles comme le fer. Mais dès qu'on arrache le ſupport, le courant en étant troublé, & ces nouveaux canaux détruits en grande partie, la force redevient ſubitement auſſi petite qu'au commencement, & il faut attendre quelque tems, juſqu'à ce que ces canaux avec le tourbillon ſoient remis dans leur état précédent. J'avois fait autrefois un aimant artificiel, qui ne portoit d'abord que dix livres, & quelque tems après je fus très-ſurpris de voir qu'il en portoit plus de trente. On remarque, principalement dans les aimants artificiels, que le tems ſeul les renforce très-conſidérablement, mais que cet accroiſſement de force ne dure que juſqu'à ce qu'on en arrache le ſupport.

le 21 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXIII.

Après avoir expliqué à V. A. la nature des aimants en général, il me reste un article aussi curieux qu'intéressant, sur la maniére dont on communique au fer & principalement à l'acier la force magnétique, & même la plus grande possible.

V. A. a bien vû que, plaçant du fer dans le tourbillon magnétique d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouït prèsque tout-à-fait, dès qu'on l'éloigne de l'aimant, & que le tourbillon seul de la terre est capable d'imprimer au fer avec le tems une légére force magnétique; or l'acier étant plus dur que le fer, & prèsque tout-à-fait insensible à cette action du tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour lui donner le magnétisme, mais aussi conserve-t-il la force magnétique plus longtems.

Il faut pour cela recourir à l'attouchement & même au frottement: je commencerai donc par expliquer de quelle méthode on se servoit ci-devant, pour rendre magnétiques les aiguilles dont on se sert dans les boussoles; toute l'opération consistoit à les frotter au pole d'un aimant excellent nud, ou armé.

On posoit l'aiguille *a b c Tab. IV. fig.* 2. sur une table, & on passoit le pole B de l'aimant

par deſſus, de *b* vers *a*, & étant parvenu au bout *a*, on levoit l'aimant bien haut & on le ramenoit par l'air en *b*, on répettoit cette opération pluſieurs fois de ſuite, en prenant bien garde que l'autre pole de l'aimant, qui auroit tout gâté, n'approchât point de l'aiguille. Après avoir paſſé quelquefois le pole B de l'aimant ſur l'aiguille de *b* en *a*, on verra que l'aiguille eſt devenue magnétique, & que le bout *b* ſera le pole du même nom que celui de l'aimant dont on a frotté. Si l'on veut que le bout *b* devienne le pole boréal, en frottant avec le pole boréal de l'aimant, il faut paſſer de *b* vers *a*; mais ſi l'on vouloit frotter avec le pole méridional, il faudroit l'appliquer au bout *a*, & le conduire à celui *b*.

Cette maniére de frotter ou toucher, eſt nommée à *ſimple touche*, puis qu'on ne touche que d'un ſeul pole; mais elle eſt fort défectueuſe, & ne communique que peu de force à l'aiguille, quelqu'excellent que fut l'aimant; auſſi ne réuſſit-elle pas, lorſque l'acier eſt porté au plus haut dégré de dureté, ce qui ſeroit pourtant l'état le plus propre pour la conſervation du magnétiſme. V. A. jugera elle-même fort aiſément des défauts de cette maniére à *la ſimple touche*.

Suppoſons que B ſoit le pole de l'aimant par où ſort la matiére magnétique, puiſque les effets des deux poles ſont ſi ſemblables, qu'il eſt impoſſible d'y remarquer la moindre diférence: ayant poſé le pole ſur le bout *b* de l'aiguil-

le, la matiére magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle ſe meut dans l'aimant, incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui eſt dans l'air hors de l'aimant; mais que deviendra cette matiére dans l'aiguille? elle ne ſauroit ſortir par le bout *b*, elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers *a*, & le pole B marchant du même côté favoriſera ces efforts; mais dès que le pole B parviendra vers *a*, la difficulté de ſortir par le bout *a* cauſera des efforts contraires, dont la matiére magnétique ſera pouſſée de *a* vers *b*; & avant que le premier effet ſoit entiérement détruit, celui-ci ne ſauroit avoir lieu. Enſuite quand on porte de nouveau le pole B ſur le bout *b*, on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant ſans produire un courant en ſens contraire de *b* vers *a*, & par conſéquent, lorſque le pole B parviendra au-delà de *c* vers *a*, il produira plus aiſément un courant de *a* vers *b*, ſur-tout quand on appuyera plus ſur la moitié *ca*: d'où il eſt clair, que l'aiguille ne ſauroit acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns auſſi ne frottent *Tab. III. fig.* 10. que la moitié *c a* en paſſant de *c* vers *a*, & d'autres ne font que toucher le bout *a* de l'aiguille par le pole B de l'aimant, & cela à-peu-près avec le même ſuccès. Mais il eſt évident que la matiére magnétique qui entre par le ſeul bout *a*, ne ſauroit agir aſſez vigoureuſement ſur les pores de l'aiguille, pour les arranger conformément à la nature magnétique, & que

la force qui lui ſera imprimée par cette méthode, doit être très-petite, & même nulle, ſi l'acier eſt bien trempé.

Il me ſemble donc qu'on pourroit rémédier à ces défauts de *la ſimple touche*, de la maniére ſuivante; du ſuccès de laquelle je ne doute point quoique je ne l'aye pas eſſayée encore, mais d'autres expériences m'en aſſurent.

Je voudrois *Tab. III. fig.* 11. enchaſſer le bout *b* de l'aiguille dans une règle de fer doux E F; & je crois qu'il ſeroit bon de faire cette règle très-mince & auſſi étroite que poſſible, mais le bout doit y être parfaitement appliqué & même enchaſſé dans un creux bien ajuſté. Quand on poſe le pole B de l'aimant ſur le bout *b* de l'aiguille, la matiére magnétique qui y entre, ne trouvant prèſqu'aucune difficulté à traverſer la règle de fer, prendra d'abord ſon cours dans la direction *b d*; & à meſure que le pole avance vers *a*, la matiére magnétique n'a pour continuer ce cours, qu'à arranger les pores ſur leſquels elle agit immédiatement; & quand on ſera parvenu juſqu'en *a*, tous ces pores, ou au moins la plûpart, ſeront déja diſpoſés ſuivant cette direction. Quand enſuite on recommence à frotter le bout *b*, on ne détruit rien, mais on continue de perfectionner le courant de la matiére magnétique, ſuivant la même direction *b d* en arrangeant auſſi les pores qui ont réſiſté à la premiére opération, & ainſi les canaux magnétiques, dans l'aiguille, deviendront toujours plus parfaits. Quelques traits

du

du pole B feront fuffifans pour cela pourvu que l'aimant ne foit pas trop foible : & je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu auffi dur qu'il eft poffible, n'obéiffe à cette méthode ; ce qui eft un grand avantage pour la conftruction des bouffoles, puifqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent fouvent, par un léger accident, toute leur force magnétique ; ce qui expoferoit les vaiffeaux aux plus grands dangers, fi l'on n'en avoit pas d'autres en referve. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidens ne font point à craindre, & comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles confervent cette qualité avec plus de vigueur.

le 24 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXIV.

Au lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la fimple touche, en le frottant d'un feul des poles d'un aimant, on fe fert aujourd'hui de *la double touche*, où l'on frotte avec les deux poles à la fois ; ce qui fe fait aifément par un aimant armé.

Soit EF *Tab. IV. fig.* 4. une barre de fer ou d'acier, qu'on veut rendre magnétique, après l'avoir bien fixée fur une table, on y pofe les deux pieds A & B d'un aimant. Dans cet état,

V. A. verra aiſément que la matiére magnétique qui ſort de l'aimant par le pied B pénêtrera dans la barre, & s'y répandroit en tous ſens, ſi le pied A n'attiroit de ſon côté la matiére magnétique contenue dans les pores de la barre. Cet épuiſement en *d* déterminera donc la matiére qui entrera par le pole B, à prendre ſon cours de *c* vers *d*, pourvu que les deux poles A & B ne ſoient pas trop éloignés l'un de l'autre. Alors le courant magnétique ſe frayera un chemin dans la barre pour paſſer du pole B dans celui A, en y diſpoſant les pores à former des canaux magnétiques; il eſt fort aiſé de s'aſſurer ſi cela arrive; on n'a qu'à voir ſi l'aimant eſt fortement attiré à la barre, ce qui ne manque jamais, ſi la barre eſt de fer doux, puiſque la matiére magnétique le pénêtre aiſément. Mais ſi la barre eſt d'acier, l'attraction eſt ſouvent fort petite, ce qui eſt une marque que la matiére magnétique n'eſt pas capable de s'ouvrir le paſſage de *c* vers *d*, d'où l'on conclud que l'aimant eſt trop foible, ou que l'eſpace entre ſes deux poles eſt trop grand: il faudra donc employer dans ce cas un aimant plus fort, ou dont les pieds ſoient plus proches, ſoit enfin changer l'armature de l'aimant comme en *fig.* 3. *Tab. IV.*

Mais voici des moyens pour rémêdier à cet inconvénient.

Ayant diſpoſé *Tab. IV. fig.* 4. dans les petits intervalles *cd*, les pores convenablement au magnétiſme, il faut paſſer & repaſſer pluſieurs

fois l'aimant ſur la barre d'un bout à l'autre, ſans l'en ôter qu'on ne s'apperçoive que l'attraction n'augmente plus; car il eſt ſûr que l'attraction croît à meſure que la force magnétique augmente. La barre EF deviendra magnétique par cette opération, enſorte que le bout E vers lequel le pole A étoit tourné, ſera le pole ami de A, & par conſéquent du même nom que l'autre pole B. Enſuite, en ôtant l'aimant, puiſqu'il y a des canaux magnétiques formés par toute la longueur de la barre, la matiére magnétique répandue dans l'air traverſera ces canaux & fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a* & ſortira par celui *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a* & formera un tourbillon ſelon que la figure de la barre le permet.

Je remarque, à cette occaſion, que la formation d'un tourbillon eſt abſolument néceſſaire pour augmenter le magnétiſme; car ſi toute la matiére magnétique qui ſort par le bout *b* échappoit, & ſe diſperſoit entiérement, ſans retourner en *a*, l'air n'en fourniroit pas aſſez à l'autre bout *a*, ce qui diminueroit la force magnétique. Mais ſi une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b*, retourne en *a*, l'air eſt bien ſuffiſant pour fournir le reſte, & peut-être encore davantage, ſi les canaux magnétiques de la barre ſont capables de la recevoir; la barre acquerra donc alors une force magnétique beaucoup plus grande.

Cette conſidération me conduit à expoſer à

V. A. comment on peut conſerver la matiére magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit d'empêcher que la matiére magnétique qui les traverſe, ne ſe diſperſe dans l'air, on diſpoſe toujours ces barres par *paires*, qui ſont de même grandeur. On les met ſur une table, dans une ſituation parallele, enſorte que les poles amis ou de diférens noms ſoient tournés du même côté, comme *Tab. IV. fig.* 5.

MM & NN repréſentent les deux barres, dont les poles amis *ab*, *ba* ſont tournés du même côté. Pour ne pas ſe tromper, on fait d'abord ſur chaque barre une marque X, au bout où eſt le pole boréal, & on applique de chaque côté un morceau de fer doux EE & FF, pour recevoir le courant magnétique. De cette maniére, toute la matiére magnétique qui traverſe la barre MM & qui ſort par le bout *b*, paſſe dans le morceau de fer EE & s'y ouvre aiſément un chemin, pour paſſer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF qui la reconduit dans la premiére barre MM par le bout *a*. C'eſt ainſi que la matiére magnétique continuera à circuler, ſans qu'il en échappe rien; & en cas même qu'il n'y en eut pas d'abord aſſez pour remplir le tourbillon, l'air fournira le reſte, & le tourbillon, par les deux barres, reſtera dans toute ſa force.

On peut auſſi employer cette diſpoſition des deux barres pour les aimanter l'une & l'autre à la fois. Il faut paſſer les deux poles d'un ai-

mant ſur les deux barres, en paſſant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, & faire pluſieurs tours, en obſervant ſoigneuſement que les deux poles de l'aimant A & B ſoient tournés comme la figure l'indique.

Cette maniére d'aimanter deux barres à la fois, doit être plus efficace que la précédente, puiſque dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matiére magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Enſuite en continuant à le paſſer ſur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétiſme, & on ouvrira pluſieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon ſera fortifié de plus en plus, ſans ſouffrir aucun affoibliſſement. Si les barres ſont épaiſſes, il ſera bon de les tourner & de les frotter de la même maniére ſur les autres faces, afin que l'action magnétique le pénêtre tout-à-fait.

Après avoir acquis ces barres magnétiques MM, NN *Tab. IV. fig. 6.* on peut s'en ſervir au lieu d'aimant naturel, pour en aimanter d'autres. On les joint enſemble en haut, deſorte que les deux poles amis *a b* ſe touchent, & on éloigne en bas les deux autres poles *b* & *a*, autant qu'on le juge à propos. Enſuite on frotte par les deux bouts d'en bas, qui tiennent lieu des deux poles d'un aimant, deux autres barres EF de la maniére que j'ai expliqué ci-deſſus.

Comme ces deux barres ſont jointes en for-

me de compas; on a la commodité de les ouvrir aussi peu qu'on veut, à quoi un aimant n'est pas propre; & le courant magnétique passera aisément en haut, où les barres se touchent, de l'une dans l'autre; on pourroit encore y mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; de cette maniére, on aimantera très-promtement autant de doubles barres qu'on voudra.

le 28 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXV.

QUOIQUE cette maniére d'aimanter à double touche soit très-préférable à la précédente, on ne sauroit cependant porter la force magnétique au-delà d'un certain dégré. Soit qu'on se serve d'un aimant naturel, ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais autant de force que celles-là; l'effet ne pouvant jamais être plus grand que la cause.

Si les barres avec lesquelles on frotte, ont peu de force, celles qui sont frottées en auront encore moins; la raison en est évidente: car comme des barres destituées de force magnétique ne sauroient en produire en d'autres, une force magnétique médiocre n'est pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre cette règle à la rigueur; & croire qu'il ſoit impoſſible de produire une plus grande force magnétique, à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. une méthode, par laquelle on peut augmenter la force magnétique prèſqu'auſſi loin qu'on veut en commençant par la plus petite. C'eſt une découverte moderne, qui mérite d'autant plus d'attention, qu'elle nous éclaircit incomparablement mieux la nature du magnétiſme.

Suppoſons qu'on n'ait qu'un aimant très-foible, ou, au défaut d'aimant naturel, des barres de fer rendues un peu magnétiques par le ſeul tourbillon de la terre, comme je l'ai expoſé à V. A. dans mes lettres précédentes; il faut ſe procurer huit barres d'acier fort petites & point trempées, pour recevoir plus aiſément la petite force magnétique que le foible aimant, ou ces barres un peu magnétiques, ſont capables de leur communiquer, en frottant chaque paire ou couple, de la maniére que j'ai expoſée précédemment. Ayant donc quatre paires de barres tant ſoit peu magnétiques, on en prend deux paires qu'on joint enſemble comme on voit en *fig.* 7. *Tab. IV.*

En réuniſſant les deux barres par les poles de même nom, on n'en fait qu'une épaiſſe du double, dont on forme le compas AC & BD qui ſe touchent en haut CD, où pour entretenir mieux le courant magnétique, on peut mettre un morceau de fer doux P. On en ou-

vre les jambes, autant qu'on le juge à propos, & l'on en frotte, l'une après l'autre, les autres qui, par ce moyen, acquerront plus de force qu'auparavant, puifque la force des deux paires s'y réunit. On n'a puis qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées, de la même maniére, & en frotter l'une après l'autre les deux paires dont on s'étoit fervi la premiére fois, & la force de celles-ci fera confidérablement augmentée. On joindra enfuite ces deux paires enfemble, & on frottera encore les autres pour y augmenter la force magnétique, & on continuera de frotter alternativement deux paires par les deux autres: on les portera par cette opération à un tel dégré de force, qu'il ne fera plus fufceptible d'augmentation ultérieure, même en la continuant plus longtems. Quand on a plus de quatre paires de ces barres, au lieu de deux paires, on peut en joindre trois enfemble, & frotter enfuite les autres; on les portera plus vîte, par ce moyen, au plus haut dégré.

Les plus grands obftacles font donc furmontés, &, par le moyen de ces barres jointes par deux ou plufieurs paires enfemble, on en frottera d'autres d'acier bien trempé, & qui font, ou de même grandeur, ou plus grandes encore que les premiéres, auxquelles on communiquera ainfi la plus grande force dont elles foient fufceptibles.

En commençant par les barres que je viens de décrire, on peut pouffer ces opéra-

tions jusqu'à des barres d'une grandeur énorme, & faites de bon acier trempé, moins sujet à perdre la force magnétique. Il faut seulement observer que, pour frotter de grandes barres, il faut en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins le double de celui d'une grande barre. Mais il vaudra toujours mieux aller par dégré, & frotter chaque espèce de barres par d'autres qui ne soient pas beaucoup plus petites, ou il suffiroit d'en joindre deux paires: car quand on est obligé d'en joindre plusieurs paires, les bouts par lesquels on frotte ont trop d'étendue, & la matiére magnétique, qui passe par-là, s'empèchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; & d'autant plus, qu'elle entre dans la barre perpendiculairement, & qu'il faut qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matiére magnétique y soit conduite par un petit espace, & qu'elle ait déja une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au-dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussiroit, à cet égard, de la maniére suivante.

La *fig.* 8. *Tab. IV.* représente cinq paires MM, NN jointes ensemble, mais pas en forme de compas. Il y a en haut une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; je ne frotte point en bas immédiatement par les bouts des barres, mais j'enchasse ces bouts de chaque côté dans un pied de fer doux, en les affermis-

ſant par quelques vis O. Chaque pied eſt courbe en AB, enſorte que la direction de la matiére magnétique, qui traverſe librement ces pieds, s'approche déja beaucoup de l'horizontale, & que dans la barre frottée EF elle n'a pas beſoin de changer beaucoup de direction. Je ne doute nullement que, par le moyen de ces pieds, la barre EF ne reçoive une beaucoup plus grande force magnétique, que ſi on la frottoit immédiatement par les bouts des barres, dont la groſſeur & la direction verticale s'oppoſent naturellement à la formation des canaux magnétiques dans la barre EF: auſſi peut-on, en ſuivant cette méthode, approcher ou éloigner les extrêmités des pieds A & B à volonté.

Je dois encore faire obſerver que, lorſque ces barres perdent avec le tems de leur force magnétique, on les rétablit aiſément par les mêmes opérations.

le 1 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXVI.

QUAND on veut faire des expériences ſur le magnétiſme, il faut être pourvu d'un grand nombre de barres magnétiques, depuis les plus petites juſques aux plus grandes: chacune peut être regardée comme un aimant particulier, ayant ſes deux poles, l'un boréal & l'autre méridional.

V. A. a dû trouver très-remarquable que, moyennant la force magnétique la plus foible que nous fourniſſe un miſérable aimant naturel, ou quelques pincettes de cheminée, qui ont acquis avec le tems un peu de magnétiſme, on ſoit en état d'augmenter cette force juſqu'à rendre les plus grandes barres d'acier douées du plus haut dégré de force magnétique, dont elles ſoient ſuſceptibles. Il ſeroit ſuperflu d'ajouter que, par cette méthode, on peut faire les meilleures aiguilles aimantées, non-ſeulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque choſe ſur la fabrique des aimants artificiels, qui ont pour la plûpart la figure d'un fer à cheval, comme V. A. en aura vu ſûrement.

Ces aimants artificiels rendent, dans toutes les occaſions, les mèmes ſervices que les naturels, & nous procurent encore l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur ſuffiſante. On les fait d'acier bien trempé, & la figure de fer à cheval ſemble la plus propre à maintenir le tourbillon. Après que l'ouvrier a fait cette piéce, on lui communique la plus grande force magnétique dont elle ſoit ſuſceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la conſtruction. On comprend aiſément, que plus cet aimant eſt grand, plus on doit y employer de grandes barres, & c'eſt pourquoi on doit être pourvu de toutes ſortes.

Pour aimanter un fer à cheval HIG, *Tab. IV. fig.* 9. qui doit être d'acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC & BD avec leurs supports de fer doux appliqués de deux côtés, dont la figure ne représente que l'un FF, l'autre ayant été ôté à mesure qu'on appliquoit les pieds du fer à cheval, comme on le voit dans la figure. Dans cet état, la matiére magnétique qui traverse les barres fera des efforts pour passer par le fer à cheval, mais vu la dureté de l'acier trempé, elle ne sera pas suffisante pour ranger les pores, & s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, & on le fait passer de la même maniére sur le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux poles du fer à cheval; de cette maniére on y ouvrira les canaux magnétiques, & la matiére subtile des barres, en le traversant, formera le tourbillon magnétique. Il faut bien prendre garde, dans cette opération, que les jambes du compas, en passant sur le fer à cheval, ne touchent les bouts A & B des barres; ce qui troubleroit le courant de la matiére magnétique, qui passeroit immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou, les tourbillons des barres & du compas se dérangeroient mutuellement.

Le fer à cheval acquerra par-là une grande force magnétique, étant traversé par un cou-

rant magnétique très-copieux ; il ne s'agit plus que de le détacher des barres, ſans que le courant ſoit dérangé. Si on l'arrachoit bruſquement, le tourbillon magnétique ſeroit détruit, & l'aimant artificiel en retiendroit très-peu de force.

Les canaux magnétiques ne ſe conſervant qu'autant que la matiére magnétique les traverſe, il faut en conclurre que les particules qui forment par les pores ces canaux, ſe trouvent dans un état forcé, qui ne ſe maintient que tant que la force du tourbillon y agit, & que dès qu'elle ceſſe, ces particules, par leur élaſticité, ſe détourneront de leur ſituation, & les canaux magnétiques ſeront ſubitement interrompus & détruits. C'eſt ce que nous voyons très-clairement dans le fer doux, dont les pores ſe rangent promtement à l'approche d'un tourbillon magnétique, mais ne conſervent prèſque plus de force magnétique, dès qu'on l'éloigne ; ce qui prouve que les pores du fer ſont mobiles, mais doués d'un reſſort qui change leur ſituation, dès que la force ceſſe. Ce n'eſt qu'après bien du tems, que quelques pores ſe fixent dans la poſition qui leur a été imprimée par la force magnétique, ce qui arrive ſur-tout dans les barres de fer expoſées long-tems au tourbillon de la terre. L'acier a ſes pores bien moins flèxibles, & qui ſe maintiennent mieux dans l'état auquel ils ont été forcés, ils ſont pourtant ſujets à quelque dérangement, dès que la force ceſſe d'y agir, mais d'autant moins, que

l'acier eſt plus dur. C'eſt pourquoi les aimants artificiels doivent être faits d'acier très-bien trempé ; ſi on les faiſoit de fer, ils acquerroient bien d'abord, étant appliqués aux barres magnétiques, une très-grande force, mais, au moment qu'on les en détacheroit, toute la force s'évanouïroit. C'eſt pourquoi il faut prendre des précautions en détachant des barres les aimans faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en ſéparer, on poſe leur ſupport, *Tab. IV. fig.* 10. fait d'un fer bien mol, ſelon la ligne MN dans la figure, en prenant garde que le ſupport ne touche point les barres, ce qui gâteroit tout & obligeroit à recommencer les opérations. Alors, une bonne partie de la matiére magnétique qui circule dans l'aimant GGI, prendra ſa route par le ſupport, & formera un tourbillon à part, qui ſe conſervera après la ſéparation.

Enſuite on pouſſe lentement le ſupport ſur les jambes de l'aimant juſqu'aux bouts, comme on voit par la figure, & dans cet état on le laiſſe repoſer pendant quelque tems, afin que le tourbillon s'affermiſſe. On charge auſſi le ſupport d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours, bien entendu, que le ſupport doit être ajuſté de maniére qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

le 5 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVII.

Je crois, à préſent, que les merveilles de la dioptrique ſeront un ſujet digne de l'attention de V. A. la dioptrique nous fournit deux ſortes d'inſtrumens compoſés de verres, qui ſervent à augmenter notre vue, pour découvrir des objets qui échapperoient à la vue ſimple.

Il y a deux cas où notre vue a beſoin de ſecours: le premier, lorſque les objets ſont trop éloignés de nous, pour que nous puiſſions les voir diſtinctement; tels ſont les corps céleſtes, ſur leſquels on a fait les plus importantes découvertes, par le moyen des inſtrumens de dioptrique. V. A. ſe ſouviendra bien, de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire ſur les ſatellites de Jupiter, qui nous conduiſent à la découverte de la longitude: ils ne ſont viſibles que par le ſecours de bonnes lunettes, & les ſatellites de Saturne en demandent de plus excellentes encore.

Il y a de plus ſur la ſurface de la terre, les objets fort éloignés, qu'on ne ſauroit voir & examiner exactement que par le ſecours de lunettes qui nous les repréſentent de la même maniére que ſi nous les voyons de près. Ces lunettes ou inſtrumens de dioptrique, pour les objets fort éloignés, ſont auſſi nommés *téleſcopes* & lunettes d'obſervation.

L'autre cas où notre vue a beſoin de ſecours,

eſt lorſque les objets, quoiqu'aſſez proches, ſont trop petits pour que nous puiſſions en diſtinguer les parties. Si l'on veut, par éxemple, découvrir toutes les parties d'une jambe de mouche ou de quelqu'inſecte plus petit : s'il s'agit d'éxaminer les particules de notre propre corps, comme les fibres les plus petites de nos muſcles, de nos nerfs, on ne ſauroit y réuſſir ſans le ſecours de certains inſtrumens, qu'on nomme *microſcopes*, qui nous repréſentent les petits objets de la même maniére, que s'ils étoient cent & même mille fois plus grands.

Voilà donc deux ſortes d'inſtrumens, les téleſcopes & les microſcopes, par leſquels la dioptrique ſupplée à la foibleſſe de notre vue. Il n'y a que quelques ſiécles que ces inſtrumens ont été inventés, & ce n'eſt que dès-lors qu'on a fait les plus importantes découvertes dans l'aſtronomie, à l'aide des téleſcopes & des lunettes, & dans la phyſique à l'aide des microſcopes.

Ces effets merveilleux ne ſont produits que par la figure qu'on donne à des morceaux de verre, & l'heureuſe combinaiſon de deux ou pluſieurs verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique eſt la ſcience qui en renferme les principes, & V. A. voudra bien ſe ſouvenir qu'elle roule principalement ſur la route que tiennent les rayons de la lumiére, lorſqu'ils traverſent des intermédiaires tranſparens de diférente qualité, lorſqu'ils paſſent, par éxemple, de l'air

dans

dans le verre ou dans l'eau, & réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons sont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin *Tab. IV. fig.* 11. selon des lignes droites L A, L B, L C, L D, tirées du point L, d'où partent ces rayons, & lorsqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent & y dépeignent l'image de l'objet d'où ils sont partis. Dans ce cas la vision est nommée simple, ou naturelle, & nous représente les objets tels qu'ils sont en effet. La science qui nous explique les principes de cette vision, est nommée *l'optique*.

Mais lorsque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, sont réflèchis sur une surface bien polie, telle qu'un miroir, la vision n'est plus naturelle; puisqu'ici, nous voyons les objets autrement & dans un autre lieu qu'ils ne sont effectivement. La science qui explique les fondemens de cette vision par des rayons réflèchis, est nommée *catoptrique*. Elle nous fournit aussi des instrumens propres à augmenter la portée de notre vue, & V. A. connoît ces sortes d'instrumens qui, par le moyen d'un ou deux miroirs, nous rendent le même service que les lunettes composées de verres. Ce sont ceux qu'on nomme *télescopes*: mais pour les distinguer des lunettes ordinaires qui ne sont composées que de verres, il vaudroit mieux les appeller télescopes catoptriques réflèchissans, ou de réflèxion. Ce seroit au-moins parler plus exactement; car

le nom de téleſcopes a été en uſage avant la découverte des inſtrumens à miroirs, & ſignifioit alors la même choſe que lunette.

Je me propoſe d'entretenir à préſent V. A. uniquement des inſtrumens dioptriques, dont nous avons deux eſpèces, les téleſcopes ou lunettes, & les microſcopes. On ſe ſert pour les uns & les autres, de verres formés de diférentes maniéres, dont je vais expliquer les diverſes eſpèces, parmi leſquelles il y en a d'abord trois principales, ſelon la figure qu'on donne à la ſurface du verre.

La premiére eſt la *plane*, lorſque la ſurface d'un verre eſt plane, comme celle d'un miroir ordinaire. Si l'on prend, par éxemple, un morceau de miroir, & qu'on ôte le vif-argent attaché à la ſurface de derriére, on aura un verre dont les deux ſurfaces ſeront *planes* & qui aura par-tout la même épaiſſeur.

La ſeconde eſt la *convêxe;* le verre eſt alors plus élevé dans le milieu que vers les bords.

La troiſiéme eſt la *concave:* le verre eſt alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois diférentes figures qu'on peut donner à la ſurface d'un verre, naiſſent les ſix eſpèces de verres de *fig.* 12. *Tab. IV.*

I. Le verre *plano-plane* eſt celui dont les deux ſurfaces ſont planes.

II. Le verre *plano-convêxe* a une ſurface plane & l'autre convèxe.

III. Le verre *plano-concave* a une ſurface plane & l'autre concave.

IV. Le verre *convêxo-convêxe* eſt celui dont les deux ſurfaces ſont convèxes.

V. Le verre *convêxo-concave* ou *méniſque* a une ſurface convèxe & l'autre concave.

VI. Le verre *concavo-concave* enfin, a les deux ſurfaces concaves.

Il eſt à propos de remarquer que la figure repréſente les coupes de ces verres ou lentilles.

le 8 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXVIII.

APRÈS ce que je viens de dire ſur les faces convèxes & concaves des lentilles, V. A. comprend aiſément, qu'il peut y en avoir d'une infinité de façons, puiſque tant la convèxité que la concavité peuvent être plus ou moins grandes. Il n'y a qu'une ſeule eſpèce de ſurfaces planes parce qu'une ſurface ne peut être plane que d'une ſeule maniére : mais une ſurface convèxe peut être regardée comme faiſant partie d'une ſphère, &, ſelon que le rayon ſoit diamètre de cette ſphère eſt plus ou moins grand, la convèxité ſera diférente. Ou, comme nous repréſentons les verres ſur le papier par des arcs de cercle, ſelon que ces cercles ſont plus ou moins grands, il en réſulte une infinité de verres, tant par rapport à la convèxité qu'à l'égard de la concavité de leurs ſurfaces.

Pour ce qui eſt de la maniére dont on forme & polit les verres, on ſe donne tous les ſoins poſſibles pour rendre leur figure éxactement circulaire ou ſphérique: on ſe ſert pour cela de baſſins de métal formés au tour, ſur une ſurface ſphérique en dedans & en dehors.

Soit AEBDFC *Tab. IV. fig.* 13. la coupe d'un ſemblable baſſin, qui aura deux faces AEB & CFD, dont chacune peut avoir ſon rayon à part; quand on frotte un morceau de verre ſur la partie concave AEB de ce baſſin, il deviendra convèxe; mais ſi on le frotte ſur la partie convèxe CFD, il deviendra concave. On ſe ſert en premier lieu de ſable pour frotter le verre contre le baſſin, juſqu'à ce qu'il en ait pris la figure, & enſuite on ſe ſert d'une terre fine pour le dernier poli.

Pour connoître la véritable figure des faces d'une lentille, on n'a qu'à meſurer le rayon de la face du baſſin, ſur laquelle cette lentille a été formée, car la véritable meſure de la convèxité & de la concavité des ſurfaces, c'eſt le rayon du cercle ou de la ſphère qui leur convient, & dont elles ſont partie.

Ainſi quand je dis *Tab. V. fig.* 1. que le rayon de la face convèxe AEB eſt de trois pouces, il faut entendre que AEB eſt un arc de cercle décrit avec un rayon de 3 pouces, l'autre face AB étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les yeux de V. A. la diférence entre les convèxités, lorſque leurs rayons ſont plus ou moins grands,

je mettrai plusieurs figures de diférente convèxité *Tab. V. fig.* 1.

On voit par-là que, plus le rayon est petit plus la surface est courbée, ou diférente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus la surface approche de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne droite. Si je faisois le rayon encore plus grand, on n'y appercevroit enfin prèsque plus de courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN *Tab. V. fig.* 2. dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied, & si le rayon étoit encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendroit tout-à-fait insensible à la vue.

Il n'en est cependant pas ainsi à l'égard de la dioptrique, & j'aurai l'honneur de faire remarquer à V. A. dans la suite, que quand le rayon seroit de cent ou de mille pieds, & que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet ne laisseroit pas d'être encore très-sensible. Il faudroit effectivement que le rayon fut infiniment grand, pour que la face devint parfaitement plane: d'où V. A. peut conclurre qu'une face plane peut être regardée comme une face convèxe dont le rayon est infiniment grand, ou comme une face concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas que la convèxité & la concavité se confondent ensemble, desorte que la face plane est le milieu qui sépare la convèxité de la concavité.

Mais plus les rayons sont petits, plus les

convèxités & les concavités deviennent ſenſibles ou grandes, & de-là on dit réciproquement, qu'une convèxité ou concavité eſt d'autant plus grande, que ſon rayon, qui en eſt la meſure, eſt petit.

Quelque grande que ſoit d'ailleurs la variété qui peut ſe rencontrer dans les lentilles ou verres, ſelon que leurs deux ſurfaces ſont planes, convèxes, ou concaves, & ceci encore d'une infinité de maniéres diférentes; par rapport à l'effet qui en réſulte dans la dioptrique, on peut néanmoins les ranger en trois claſſes principales, que voici.

La premiére comprend les verres qui ſont par-tout également épais; ſoit que leurs deux faces ſoient planes & paralleles entr'elles, *Tab. V. fig.* 3. ſoit que l'une ſoit convèxe & l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre, *Tab. V. fig.* 4. deſorte que l'épaiſſeur reſte par-tout la même. Il eſt à remarquer ſur ces verres, qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'eſt comme s'il n'y avoit rien entre nos yeux & les objets; auſſi, ne ſont-ils d'aucun uſage dans la dioptrique. Ce n'eſt pas que les rayons qui entrent dans ces verres ne ſouffrent aucune réfraction, mais parceque la réfraction à l'entrée eſt parfaitement redreſſée à la ſortie, deſorte que les rayons, après avoir traverſé le verre, reprennent la même route qu'ils avoient tenue avant que d'y entrer. Ce ſont donc les verres des deux autres claſſes qui, à cauſe de

leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La ſeconde claſſe de verres renferme ceux qui ſont plus épais vers le milieu que vers les bords *Tab. V. fig.* 5.

L'effet en eſt le même, tant que l'excès de l'épaiſſeur du milieu ſur celle des bords tient le même rapport à la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette claſſe *convêxes*, puiſque la convèxité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces peut être plane & même concave.

La troiſiéme claſſe contient les verres qui ſont plus épais par les bords que vers le milieu. *Tab. V. fig.* 6. qui tous produiſent un ſemblable effet, dépendant de l'excès d'épaiſſeur vers les bords ſur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troiſiéme claſſe, on les nomme ſimplement *concaves*. Il faut bien les diſtinguer de ceux de la ſeconde claſſe qui ſont les convèxes.

C'eſt des verres de ces deux derniéres claſſes que je me propoſe d'entretenir V. A. dans mes lettres ſuivantes, en y expoſant leurs effets dans la dioptrique.

le 12 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXIX.

Pour expliquer à V. A. l'effet que produiſent les verres convèxes & concaves dans l'apparition des objets, il faut diſtinguer deux cas, l'un où l'objet eſt très-éloigné du verre, & l'autre où il ſe trouve plus rapproché.

Mais avant que d'entreprendre cette explication, je dois dire un mot ſur ce qu'on nomme l'axe d'un verre. Comme les deux ſurfaces ſont repréſentées par des arcs de cercle, on n'a qu'à tirer une ligne droite par les centres de ces deux cercles; cette ligne eſt nommée l'axe du verre. Dans la *fig.* 7. *Tab. V.* du verre AB, le centre de l'arc AEB étant en C & celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD eſt nommée l'axe de ce verre, & il eſt aiſé de voir que cet axe paſſe par le milieu. Il en eſt de même ſi les faces des verres ſont concaves. Or ſi l'une eſt plane, l'axe y ſera perpendiculaire, en paſſant par le centre de l'autre face.

On peut voir par-là que l'axe traverſe perpendiculairement les deux faces, & qu'ainſi un rayon de lumiére qui vient dans la direction de l'axe, n'y ſouffre aucune réfraction, puiſque les rayons qui paſſent d'un milieu dans un autre, ne ſont rompus ou réfractés, qu'entant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut auſſi prouver que tous les autres rayons qui paſſent par le milieu O du verre, ne ſouffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent paralleles à eux-mêmes.

Il faut conſidérer pour en comprendre la raiſon, que les deux faces du verre ſont paralleles entr'elles aux points E & F, car l'angle MEB que fait le rayon ME avec l'arc de cercle EB, ou ſa tangente en E, eſt parfaitement égal à l'angle PFA, que ce même rayon prolongé FP fait avec l'arc de cercle AF ou ſa tangente en F: V. A. ſe ſouvient que ces deux angles ſont nommés alternes, & qu'il eſt démontré que, lorſque les angles alternes ſont égaux, les lignes droites ſont paralleles entr'elles: par conſéquent les deux tangentes en E & en F ſeront paralleles, & il en ſera de même que ſi le rayon MEFP paſſoit par un verre, dont les deux faces fuſſent paralleles entr'elles. Or nous avons vû ci-deſſus, que les rayons ne changent point de route en paſſant par un tel verre.

Après ces remarques, conſidérons un verre convêxe AB, *Tab. V. fig.* 8. dont l'axe ſoit la ligne droite OEFP, & ſuppoſons qu'il ſe trouve ſur ſon axe à une grande diſtance du verre un objet ou point lumineux O, qui répand des rayons en tous ſens: il y en aura qui paſſeront par notre verre AB, tels que OM, OE & ON, dont celui du milieu OE ne ſouffrira aucune réfraction, mais continuera ſa route à travers du verre, ſuivant la di-

rection F J P. Les deux autres rayons O M & O N en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant, de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, & continueront ensuite leur route dans les directions J Q & J R : on peut aussi prouver que tous les autres rayons qui tombent entre M & N seront rompus, ensorte qu'ils se réunissent avec l'axe au-même point J. Donc les rayons qui sans l'interposition du verre, auroient continué leurs routes rectilignes O M & O N, suivront après la réfraction d'autres routes, comme s'ils etoient partis du point J ; & s'il y avoit un œil quelque part en P, il en seroit affecté comme si le point lumineux étoit actuellement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à supposer, pour un moment, qu'il y ait en J un objet réel, qui répandant ses rayons, seroit également vû d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre ; parcequ'il y a en J une image de l'objet O, & que le verre A B y représente l'objet O, ou le transporte prèsqu'en J ; ce n'est donc plus le point O qui est l'objet de la vue, mais plutôt son image représentée en J.

Ce verre produit donc un changement bien considérable : un objet fort éloigné O est transporté subitement en J, d'où l'œil doit sans-doute recevoir une impression toute autre que si, ôtant le verre, l'œil voïoit immédiatement l'ob-

ʃet O. Que V. A. conſidère une étoile en O, puiſque nous ſuppoſons que le point O eſt extrêmement éloigné, le verre nous repréſentera en J l'image de cette étoile, mais cette image qu'on ne ſauroit toucher & qui n'a aucune réalité, puiſqu'il n'éxiſte rien en J, ſi ce n'eſt, que les rayons partis du point O y ſont raſſemblés par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus, que l'étoile nous paroîtroit de la même maniére que ſi elle éxiſtoit réellement en J. Comment un corps pluſieurs milliers de fois plus grand que la terre, pourroit-il éxiſter en J? Nos ſens en ſeroient frappés bien diféremment: il faut donc remarquer que ce n'eſt qu'une image repréſentée en J, comme celle d'une étoile repréſentée dans le fonds de l'œil, ou celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de ſurprenant.

le 15 *Décembre* 1761.

LETTRE CXC.

Je deſtine cette lettre à expoſer à V. A. quel effet produiſent les verres convèxes, ſoit ceux qui ſont plus épais par le milieu que vers les bords. Tout conſiſte à déterminer le changement que les rayons ſouffrent dans leur route, lorſqu'ils paſſent par un tel verre. Pour

mettre cette recherche dans tout ſon jour, il faut bien diſtinguer deux cas, l'un où l'objet eſt fort éloigné du verre, & l'autre où il en eſt aſſez près. Je conſidèrerai donc d'abord le premier cas, où l'objet eſt extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig. 9. Tab. V.*, MN eſt le verre convèxe, & la ligne droite OABJS ſon axe, qui paſſe perpendiculairement par le milieu; remarquons en paſſant, que cette propriété de l'axe de chaque verre de paſſer perpendiculairement par ſon milieu, nous en donne l'idée la plus juſte qu'on puiſſe s'en former. Concevons maintenant que ſur cet axe ſe trouve quelque part en O, un objet OP que je repréſente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puiſſe avoir; & comme chaque point de cet objet lance ſes rayons en tout ſens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent ſur le verre.

Je bornerai donc mes réflèxions ſur ceux qui proviennent du point O, ſitué dans l'axe même du verre. La figure nous repréſente trois de ces rayons, OA, OM & ON, dont le premier OA paſſant par le milieu du verre, ne ſouffre aucun changement dans ſa route qu'il continue, après avoir traverſé le verre ſelon la premiére direction BJS, c'eſt-à-dire, dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons OM & ON ſouffrent une réfraction, tant en entrant qu'en ſortant du verre, par laquelle ils ſont détournés de leur premiére

route; de façon qu'ils se réuniront quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites MJQ & NJR; desorte que dans la suite lorsqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet que si le point O éxistoit en J, puisqu'ils tiennent la même route. C'est pourquoi l'on dit que le verre convèxe transporte l'objet de O en J, mais pour distinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à son tour est nommé l'objet.

Ce point J est très-remarquable, & lorsque l'objet O est extrèmement éloigné, l'image en est aussi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raison à V. A. Si c'est le soleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent sur le verre sont tous réunis dans le lieu J, & comme ils sont extrèmement forts & doués de la qualité d'échauffer, il est naturel que la réunion de tant de rayons en J, produise un dégré de chaleur capable de brûler les choses combustibles qu'on y met. Or le lieu où tant de chaleur est réunie se nomme *foyer*; la raison de cette dénomination à l'égard des verres convèxes est évidente. C'est pourquoi un verre convèxe est aussi nommé *verre ardent*, dont les effets sont sûrement bien connus à V. A. Je remarque seulement que cette propriété de réunir les rayons du soleil, dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres

convèxes; ils réuniſſent auſſi les rayons de la lune, des étoiles & de tous les corps fort éloignés; & quoique leur force ſoit trop petite pour produire quelque chaleur, on ſe ſert pourtant du même nom de foyer: ainſi le foyer d'un verre n'eſt autre choſe que le lieu où l'image des objets fort éloignés eſt repréſentée: à quoi il faut encore ajouter cette condition, que l'objet ſoit ſitué dans l'axe même du verre; car s'il étoit hors de l'axe, ſon image ſeroit auſſi répréſentée hors de l'axe, j'aurai occaſion d'en parler dans la ſuite.

Au reſte, il eſt bon d'ajouter encore les remarques ſuivantes ſur le foyer.

1. Comme le point O, ou l'objet, eſt infiniment éloigné, les rayons OM, OA & ON peuvent être conſidérés comme paralleles entr'eux, & par la même raiſon paralleles à l'axe du verre.

2. Le foyer J eſt donc le point derriére le verre, où les rayons paralleles à l'axe, qui tombent ſur le verre, ſont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, & le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné & ſitué dans l'axe du verre eſt repréſentée, ſont la même choſe.

4. L'éloignement du point J derriére le verre, ſoit la diſtance BJ, eſt nommé la diſtance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomment auſſi la diſtance focale.

5. Chaque verre convèxe a ſa diſtance de

ſoyer particuliére, l'un plus grande & l'autre plus petite, ce qu'on trouve aiſément en expoſant le verre au ſoleil, & obſervant où les rayons ſe réuniſſent.

6. Les verres qui ſont formés par des arcs de petits cercles, ont leur foyer fort près derriére eux; mais ceux dont les faces ſont des arcs de grands cercles, ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il eſt important de ſavoir la diſtance du foyer de chaque verre convèxe dont on ſe ſert dans la dioptrique, & il ſuffit d'en connoître le foyer, pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou téleſcopes que dans les microſcopes.

8. Si l'on ſe ſert de verres également convèxes des deux côtés, deſorte que chaque face réponde au même cercle, alors le rayon de ce cercle donne à-peu-près la diſtance du foyer de ce verre, ainſi pour faire un verre ardent, qui brûle à la diſtance d'un pied, on n'a qu'à former ſes deux faces ſuivant un cercle dont le rayon eſt d'un pied.

9. Mais lorſque le verre eſt plano-convèxe, ſa diſtance de foyer eſt à-peu-près égale au diamètre du cercle qui convient à la face convèxe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire, facile à entendre.

le 19 Décembre 1761.

LETTRE CXCI.

Ayant remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convèxe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais toujours situés dans l'axe du verre, & j'observe d'abord, que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons *Tab. V. fig.* 10. que F soit le foyer du verre MM, desorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre ou au haut de la figure, l'image soit représentée en F, en approchant l'objet du verre & le plaçant successivement en P, Q, R, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*, plus éloignés du verre que le foyer, ou bien, si AP est la distance de l'objet, B*p* sera la distance de l'image; & si AQ est la distance de l'objet, B*q* sera celle de l'image, & la distance B*r* de l'image répondra à la distance de l'objet AB.

On a une règle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derriére le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre; mais je ne veux pas ennuyer V. A. par une exposition sèche de cette règle; il suffira de remarquer en général, que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derriére le verre devient grande. J'ajouterai outre cela

la l'éxemple d'un verre convèxe, dont la distance du foyer est de 6 pouces, ou d'un verre tel, que si la distance de l'objet est infiniment grande, la distance de l'image derriére le verre, soit précisément de 6 pouces; maintenant, si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera suivant cette table

Distance de l'objet	Distance de l'image
infini	6
42	7
24	8
18	9
15	10
12	12
10	15
9	18
8	24
7	42
6	infini

ainsi l'objet étant éloigné de 42 pouces du verre, l'image tombera à la distance de 7 pouces, & ainsi d'un pouce plus loin que le foyer. Or si l'objet se trouve à la distance de 24 pouces, l'image se trouvera à celle de 8 pouces, & par conséquent de deux pouces au-delà du foyer & ainsi de suite.

Quoique ces nombres ne conviennent qu'à

un verre dont la diſtance du foyer eſt de 6 pouces, on en peut pourtant tirer quelques conſéquences générales.

1. Si la diſtance de l'objet eſt infiniment grande, l'image tombe dans le foyer même.

2. Si la diſtance de l'objet eſt deux fois plus grande que la diſtance du foyer, la diſtance de l'image ſera auſſi deux fois plus grande que celle du foyer, ou bien l'objet & l'image ſeront également éloignés du verre. Dans l'éxemple rapporté ci-deſſus, la diſtance de l'objet étant de 12 pouces, celle de l'image eſt auſſi de 12 pouces.

3. Lorſqu'on approche l'objet du verre, de façon que la diſtance ſoit préciſément égale à celle du foyer, (comme de 6 pouces dans l'éxemple ci-deſſus) alors l'image s'éloigne à l'infini derriére le verre.

4. Auſſi voit-on en général, que la diſtance de l'objet & celle de l'image ſe répondent réciproquement, ou ſi l'on met l'objet à la place de l'image, elle tombera dans le lieu de l'objet.

5. Si donc le verre MM *Tab. V. fig.* 11. raſſemble en J les rayons qui émanent du point O, ce même verre y raſſemblera auſſi les rayons qui émanent du point J.

6. C'eſt la ſuite d'un grand principe de la dioptrique, en vertu duquel on ſoutient que, quelles que ſoient les réfractions que les rayons ont ſouffert en paſſant par pluſieurs milieux réfringens, ils pourroient toujours retourner ſur la même route.

Cette vérité est très-importante dans la connoissance des verres; ainsi quand je sais, par exemple, qu'un verre a représenté, à la distance de 8 pouces, l'image d'un objet éloigné de 24 pouces; je puis hardiment en conclure, que si l'objet étoit éloigné de 8 pouces, le même verre en représenteroit l'image à la distance de 24 pouces.

Il est aussi essentiel de remarquer que, lorsque la distance de l'objet est égale à celle du foyer, l'image s'éloignera subitement à l'infini; ce qui est parfaitement d'accord avec le rapport qui se trouve entre l'objet & l'image.

V. A. sera sans-doute curieuse de savoir en quel lieu l'image sera représentée, lorsqu'on approche davantage l'objet du verre & que sa distance devient plus petite que celle du foyer. Cette question est d'autant plus embarrassante, qu'il faudroit répondre que la distance de l'image devroit être alors plus grande que l'infini, puisque plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne. Mais l'image étant déja éloignée à l'infini, comment est-il possible, que sa distance devienne plus grande ? Cette question pourroit sans-doute embarrasser les philosophes, mais il est fort aisé d'y répondre par les mathématiques. L'image passera d'une distance infinie, à l'autre côté du verre, & par conséquent du même où se trouve l'objet. Quelque bizarre que paroisse cette réponse, elle est non-seulement confirmée par le raisonnement, mais par l'expérience, de-

ſorte qu'on ne ſauroit douter de ſa juſteſſe; croître au-delà de l'infini, eſt la même choſe que paſſer de l'autre côté: ce qui eſt ſans-doute un véritable paradoxe.

le 22 *Décembre* 1761.

LETTRE CXCII.

V. A. ne doit plus douter que chaque verre convèxe ne repréſente quelque part l'image des objets qui lui ſont oppoſés, & que, dans chaque cas, le lieu de l'image varie autant ſelon l'éloignement de l'objet, que ſelon la diſtance du foyer du verre, mais il me reſte à expliquer encore un article bien important, concernant la grandeur de l'image.

Lorſqu'un tel verre nous repréſente l'image du ſoleil, de la lune, ou d'une étoile à la diſtance d'un pied, V. A. s'imagine bien que ces images doivent être incomparablement plus petites que les objets mêmes. Une étoile étant beaucoup plus grande que toute la terre, comment ſeroit-il poſſible qu'une auſſi grande image nous fut repréſentée à la diſtance d'un pied? Mais l'étoile ne nous paroiſſant que comme un point, l'image repréſentée par le verre reſſemble auſſi à un point, &, par conſéquent, eſt infiniment plus petite que l'objet même.

Il y a donc, dans chaque repréſentation faite

par les verres, deux chofes à confidérer, l'une regarde le lieu où l'image eft repréfentée, & l'autre la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-diférente de celle de l'objet. La premiére étant fuffifamment éclaircie, je vais expofer à V. A. une règle très-fimple, qui lui fera juger aifément, dans chaque cas, de quelle grandeur doit être l'image repréfentée par le verre.

Soit OP *Tab. VI. fig.* 1. un objet quelconque, fitué fur l'axe du verre convèxe MN, il faut d'abord chercher le lieu de l'image en J, deforte que le point J eft l'image du bout O de l'objet, puifque les rayons émanés du point O, y font réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu fera repréfentée l'image de l'autre point P de l'objet; pour cet effet, confidérons les rayons PM, PA, PN, qui partant du point P tombent fur le verre; j'obferve que le rayon PA qui paffe par le milieu du verre ne change point de direction, mais continue fa route AKS: ce fera donc quelque part fur cette ligne en K, où les autres rayons PM & PN fe réuniffent: ou bien le point K fera l'image de l'autre bout P de l'objet, le point J étant celle du point O: il eft aifé d'en conclure, que JK fera l'image de l'objet OP, repréfentée par le verre.

Donc pour déterminer la grandeur de cette image, ayant trouvé le lieu J, il ne faut que tirer du bout P de l'objet, par le milieu du

verre A, la ligne droite PAKS & poser en J perpendiculairement à l'axe, la ligne JK, & celle-ci sera l'image en question; il est évident par-là que l'image est renversée, desorte que si la ligne OR étoit horizontale & l'objet OP un homme, l'image auroit la tête K en bas & les pieds en haut en J.

J'ajouterai là-dessus les remarques suivantes.

1. Plus l'image *Tab. VI. fig.* 2. est proche du verre, plus elle est petite: & plus elle en est éloignée, plus elle est grande. Ainsi OP étant l'objet placé sur l'axe devant le verre MN, si l'image tomboit en Q, elle seroit plus petite que si elle tomboit en R, S ou T. Car puisque la ligne droite PA*t* tirée du sommet de l'objet P par le milieu du verre, termine toujours l'image à quelque distance qu'elle s'en trouve, il est évident que, parmi les lignes Q*q*, R*r*, S*s*, T*t*, la premiére Q*q* est la plus petite, & que les autres croissent à mesure qu'elles s'éloignent du verre.

2. Il y a un cas où l'image est précisément égale à l'objet; c'est lorsque la distance de l'image est égale à celle de l'objet, ce qui arrive, comme j'ai déja remarqué, quand la distance de l'objet AO est double de celle du foyer du verre; l'image sera alors Tt ensorte que la distance BT est égale à AO. V. A. n'a donc qu'à considérer les deux triangles OAP & TA*t*, qui ayant tant les angles opposés par la pointe en A, que les côtés AO, & AT égaux

entr'eux, & de plus, les angles en O & T qui ſont droits: ces deux triangles ſont égaux entr'eux & ainſi le côté Tt, qui eſt l'image, eſt égal au côté OP qui eſt l'objet.

3. Si l'image étoit deux fois plus éloignée du verre que l'objet, elle ſeroit double de l'objet; &, en général, autant de fois que l'image eſt éloignée du verre que l'objet, elle ſera plus grande. Or plus on approche l'objet du verre; plus l'image s'en éloigne, & devient par conſéquent plus grande.

4. Il arrive le contraire lorſque l'image eſt plus proche du verre que l'objet; elle eſt alors autant de fois plus petite que l'objet, qu'elle eſt plus proche du verre que lui. Si donc la diſtance de l'image étoit 1000 fois plus petite que celle de l'objet, elle ſeroit auſſi mille fois plus petite.

5. Appliquons cela aux verres ardens qui, expoſés au ſoleil, repréſentent ſon image dans le foyer, ou plutôt le foyer, c'eſt-à-dire, ce cercle lumineux & brillant qui brule, & qui n'eſt autre choſe que l'image du ſoleil repréſentée par le verre. V. A. ne ſera donc plus ſurpriſe de la petiteſſe de l'image, quoique le ſoleil ſoit ſi exceſſivement grand, puiſqu'elle eſt autant de fois plus petite que le véritable ſoleil dans le foyer, que la diſtance du ſoleil eſt plus grande que celle de l'image au verre.

6. Il eſt donc clair, que plus la diſtance du foyer d'un verre ardent eſt grande, plus le cercle eſt brillant dans le foyer, c'eſt-à-dire,

plus l'image du ſoleil ſera grande : & le diamêtre du foyer eſt toujours environ 100 fois plus petit que la diſtance du foyer au verre.

J'aurai dans la ſuite l'honneur de parler à V. A. des diférens uſages qu'on fait des verres convêxes, qui ſont tous ſi curieux, qu'ils méritent bien ſon attention.

le 26 *Décembre* 1761.

LETTRE CXCIII.

Le premier uſage des verres convêxes eſt celui des verres ardens, dont l'effet doit paroître tout-à-fait ſurprenant à ceux mêmes qui ont déja quelque teinture de la phyſique. En effet, qui croiroit que la ſimple image du ſoleil ſoit capable d'exciter un dégré ſi prodigieux de chaleur? Mais V. A. n'en ſera plus ſurpriſe, ſi elle daigne faire quelqu'attention aux réflêxions ſuivantes.

1. Soit *Tab. VI. fig.* 3. MN un verre ardent, qui reçoit ſur ſa ſurface les rayons du ſoleil R, R, R, rompus de façon qu'ils préſentent en F un petit cercle lumineux, qui eſt l'image du ſoleil, & d'autant plus petit, qu'il eſt plus près du verre.

2. Tous les rayons du ſoleil qui tombent ſur la ſurface du verre, ſont réunis dans le petit eſpace du foyer F, ainſi leur effet doit

y être autant de fois plus grand, que la ſurface du verre ſurpaſſe la grandeur du foyer ſoit l'image du ſoleil. On dit que les rayons qui étoient diſperſés par toute la ſurface du verre ſont concentrés dans le petit eſpace F.

3. Les rayons du ſoleil ayant un certain dégré de chaleur, ils éxercent ce pouvoir dans le foyer à un dégré fort ſenſible; on peut même eſtimer combien de fois ce dégré doit ſurpaſſer la chaleur naturelle des rayons du ſoleil : il ne faut que voir combien de fois la ſurface du verre eſt plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'étoit pas plus grand que le foyer, la chaleur ne ſurpaſſeroit point la naturelle; il faut en conclure, que pour qu'un verre ardent produiſe un grand effet, il ne ſuffit pas qu'il ſoit convêxe ou qu'il repréſente l'image du ſoleil, il faut encore qu'il ait une ſurface qui ſurpaſſe pluſieurs fois la grandeur du foyer, qui eſt d'autant plus petit, qu'il eſt proche du verre.

5. La France poſſède le plus excellent verre ardent; ſa largeur eſt de 3 pieds, & on eſtime ſa ſurface près de 2000 fois plus grande que le foyer ou l'image du ſoleil qu'il repréſente. Il faut donc qu'il produiſe dans le foyer une chaleur 2000 fois plus grande que celle que nous reſſentons du ſoleil. Auſſi ſes effets ſont-ils prodigieux : au premier inſtant tout bois eſt enflammé, les métaux ſont fondus en peu de minutes; &, en général, le feu le plus ardent qu'on puiſſe produire, n'eſt pas à com-

parer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On eſtime la chaleur de l'eau bouillante environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du ſoleil pendant l'été, ou ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante eſt trois fois plus grande que la chaleur naturelle du ſang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb, il faut une chaleur trois fois plus grande que pour faire bouillir de l'eau, & pour fondre du cuivre, il la faut trois fois plus grande encore. L'or en éxige un bien plus haut dégré; une chaleur 100 fois plus grande que celle de notre ſang eſt donc capable de fondre l'or; combien de fois une chaleur 2000 fois plus grande, ne doit-elle donc pas ſurpaſſer la force de nos feux ordinaires?

7. Mais comment les rayons du ſoleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y produiſent-ils ces effets prodigieux? C'eſt une queſtion bien difficile, ſur laquelle les philoſophes ſont fort partagés. Ceux qui ſoutiennent que les rayons ſont une émanation du ſoleil, lancée avec la grande viteſſe dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A., ne ſont pas en peine là-deſſus, ils n'ont qu'à dire que la matiére des rayons, frappant les corps avec violence, doit en briſer & détruire tout-à-fait les moindres particules. Mais ce ſentiment ne peut plus avoir lieu en ſaine phyſique.

8. L'autre ſyſtême, qui met la nature de

la lumiére dans l'ébranlement de l'éther, paroît peu propre à expliquer ces effets ſurprenans des verres ardens. En peſant bien cependant toutes les circonſtances, on ſera bientôt convaincu de la poſſibilité. Les rayons naturels du ſoleil excitent en tombant ſur un corps, les moindres particules de ſa ſurface à un ébranlement, ou mouvement de vibration, qui à ſon tour eſt capable d'exciter de nouveaux rayons, qui nous rendent ce même corps viſible. Et un corps n'eſt éclairé, qu'autant que ſes propres particules ſont miſes dans un mouvement de vibration ſi rapide, qu'il ſoit capable de produire de nouveaux rayons dans l'éther.

9. Il eſt donc clair, que ſi les rayons naturels du ſoleil ont aſſez de force pour ébranler les moindres particules des corps, ceux raſſemblés dans le foyer, doivent mettre celles qu'ils y rencontrent dans une agitation ſi violente, que leur liaiſon mutuelle ſoit tout-à-fait rompue ; & le corps même entiérement détruit, ce qui eſt l'effet du feu. Car ſi le corps eſt combuſtible comme le bois, la diſſolution de ſes moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chaſſe une bonne partie dans l'air, en forme de fumée, & les parties plus groſſiéres reſtent ſous la forme de cendres. Les corps fuſibles, comme les métaux, deviennent liquides par la diſſolution de leurs particules, d'où l'on peut comprendre, comment le feu agit ſur les corps; ce n'eſt que la liaiſon entre leurs

plus petites particules qui en eſt attaquée, & les particules mêmes y ſont enſuite miſes dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien frappant des verres ardens, qui tire ſon origine de la nature des verres convêxes. J'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à V. A.

le 28 *Décembre* 1761.

LETTRE CXCIV.

On fait encore uſage des verres convêxes dans les chambres obſcures, & par leur moyen tous les objets de dehors ſont repréſentés dans la chambre ſur une ſurface blanche, avec leurs couleurs naturelles, de maniére que les payſages, ou les places, y ſont repréſentés dans une plus grande perfection, que ne pourroit le faire un peintre. Auſſi les peintres ſe ſervent-ils de ce moyen pour deſſiner avec éxactitude les payſages & autres objets qu'on voit dans l'éloignement. C'eſt de ces chambres obſcures que je me propoſe d'entretenir V. A.

Dans la *fig*. 4. *Tab. VI.* EFGH repréſente la coupe d'une chambre obſcure, bien fermée de toutes parts, à l'exception d'un trou rond fait dans un volet, où l'on fixe un verre convêxe d'un foyer tel, que l'image des objets de dehors, comme, par éxemple, de l'arbre OP,

tombe éxactement ſur la muraille oppoſée F G en *op*. On ſe ſert auſſi d'une table blanche & mobile qu'on met dans le lieu des images repréſentées.

Ce n'eſt donc qu'à travers ce trou MN, où eſt placé le verre, que les rayons de lumiére peuvent entrer dans la chambre, ſans quoi il y règneroit une obſcurité parfaite.

Conſidérons maintenant le point P de quelqu'objet, la tige par éxemple de notre arbre O P. Ses rayons P M, P A, P N tomberont donc ſur le verre M N & en ſeront réfractés, enſorte qu'ils ſe réuniſſent de nouveau au point *p* ſur la muraille, ou ſur une table blanche miſe expreſſément dans cet endroit. Ce point *p* ne recevra par conſéquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P, de même tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui ſont partis du point de l'objet qui y répond; & réciproquement, à chaque point de l'objet du dehors, répondra un point ſur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtoit le verre du trou M N, la table ſeroit tout autrement éclairée, puiſqu'alors chaque point de l'objet répandroit ſes rayons par toute la table, deſorte que chaque point de la table ſeroit éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il n'eſt éclairé que par un ſeul point de l'objet dont il reçoit les rayons, d'où V. A. comprendra aiſément que l'effet doit en être tout-à-fait diférent, que ſi les rayons entroient ſimplement par le trou M N dans la chambre.

Voyons de plus près en quoi conſiſte cette diférence, & ſuppoſons d'abord que le point P de l'objet ſoit verd, le point p de la table ne recevra donc que ces rayons verds de l'objet P, qui en ſe réuniſſant feront une certaine impreſſion qu'il s'agit d'éxaminer ici. Pour cet effet V. A. voudra bien ſe ſouvenir des propoſitions ſuivantes, que j'ai eu l'honneur de lui expliquer autrefois.

1. Les couleurs diférent entr'elles de la même maniére que les tons de la muſique: chaque couleur eſt produite par un nombre déterminé de vibrations qui, dans un tems donné, ſont excitées dans l'éther. Ainſi la couleur verte de notre point P eſt appropriée à un certain nombre de vibrations, & ne feroit plus verte ſi ces vibrations étoient plus ou moins rapides. Quoique nous ne connoiſſions pas le nombre des vibrations qui produiſent telle ou telle couleur, il nous ſera toujours permis de ſuppoſer ici que la couleur verte éxige 12000 vibrations par ſeconde, & ce que nous dirons de ce nombre de 12000 s'entendra auſſi aiſément du nombre véritable quel qu'il ſoit.

2. Cela poſé, le point p ſur la table blanche ſera frappé par un mouvement de vibration, dont 12000 s'achèvent dans une ſeconde. Or j'ai remarqué que les particules d'une ſurface blanche ſont toutes de nature à recevoir toutes ſortes d'ébranlemens, plus ou moins rapides, au lieu que celles d'une ſurface colorée ne ſont propres qu'à recevoir le dégré de rapidité

qui convient à leur couleur. Et puiſque notre table eſt blanche, le point *p* y ſera excité à un mouvement de vibration convenable à la couleur verte : ou bien il ſera agité 12000 fois par ſeconde.

3. Tant que le point *p*, ou la particule de la ſurface blanche qui ſe trouve en *p*, eſt agitée d'un ſemblable mouvement, elle le communiquera aux particules de l'éther qui l'environnent; & ce mouvement ſe répandant en tout ſens, engendrera des rayons de la même nature, c'eſt-à-dire, verds : ainſi que dans les ſons, le ſeul bruit d'un certain ſon C, par exemple, ébranle une corde tendue au même ton & lui fait rendre du ſon ſans qu'elle ſoit touchée.

4. Le point *p* de la table blanche produira donc des rayons verds, comme s'il étoit teint de cette couleur : & ce que je dis du point *p*, aura lieu également pour tous les autres points de la table éclairée, qui produiront tous les rayons, chacun de la même couleur que l'objet dont il repréſente l'image. Chaque point de la table deviendra donc viſible ſous une certaine couleur comme ſi elle en étoit effectivement teinte.

5. On appercevra donc ſur la table toutes les couleurs des objets de dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paroîtra de la couleur de l'objet qui lui répond, & l'on verra ſur la table un amas de pluſieurs couleurs, diſpo-

ſées dans le même ordre qu'on les voit ſur les objets mêmes, c'eſt-à-dire, une peinture, ou plutôt le tableau au parfait de tous les objets qui ſe trouvent hors de la chambre obſcure devant le verre NN.

6. Tous ces objets paroîtront cependant renverſés, comme V. A. le jugera de ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre O ſera repréſenté en *o* & la tige P en *p*: car, en général, chaque objet doit être repréſenté ſur la table blanche, dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A; ce qui eſt en haut ſera par conſéquent repréſenté en bas, & ce qui eſt à gauche ſera à la droite; en un mot tout ſera renverſé ſur le tableau; cependant la repréſentation ſera plus éxacte & plus parfaite que ne pourroit la rendre le plus habile peintre.

7. V. A. remarquera, au reſte, que cette peinture ſera plus petite que les objets mêmes, d'autant que le foyer du verre ſera plus court. Ainſi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit; & ſi l'on ſouhaite qu'ils ſoient rendus en grand, il faut employer des verres d'un foyer plus long, ou qui repréſentent les images à une plus grande diſtance.

8. Pour contempler plus à ſon aiſe ces repréſèntations, on intercepte les rayons par un miroir, d'où ils ſont réfractés, enſorte qu'ils repréſentent toute la peinture ſur une table horizontale; ce qui eſt d'une grande commodité

lorſqu'on

lorſqu'on veut copier ce qu'on y voit repréſenté.

le 2 Janvier 1761.

LETTRE CXCV.

QUOIQUE V. A. n'ait plus aucun doute ſur les repréſentations qui ſe font dans une chambre obſcure par le moyen d'un verre convêxe, j'eſpère que les réflêxions ſuivantes ne feront point ſuperflues, & ſerviront à mettre cette matiére dans un plus grand jour.

1. Il faut que la chambre ſoit parfaitement obſcure; car ſi elle étoit éclairée, la table blanche ſeroit viſible, & les particules de ſa ſurface déja ébranlées, ne pourroient plus recevoir l'impreſſion des rayons qui ſe réuniroient pour former les images des objets qui ſont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre ſoit peu éclairée, on appercevra toujours ſur la table quelque choſe de la repréſentation, quoiqu'elle ne ſoit pas ſi vive que ſi la chambre étoit entiérement obſcure.

2. En ſecond lieu il faut bien diſtinguer la peinture exprimée ſur la table blanche, de l'image que le verre repréſente par ſa propre nature, comme je l'ai expoſé ci-deſſus. Il eſt bien vrai que plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets eſt formée par le verre, cette image ſe confondra avec la peinture

qu'on apperçoit ſur la table, mais toutefois ces deux choſes ſont d'une nature tout-à-fait diférente : l'image n'eſt qu'un ſpectre ou une ombre voltigeant dans l'air, qui n'eſt viſible qu'en certains endroits, tandis que la repréſentation eſt un vrai tableau, que tous ceux qui ſont dans la chambre peuvent voir, & auquel il ne manque que la durée.

3. Pour éclaircir mieux cette diférence, on n'a qu'à bien conſidérer la nature de l'image *o*, qui eſt repréſentée dans la *fig.* 5. *Tab. VI.* par le verre convèxe MN, l'objet étant en O. Cette image n'eſt autre choſe que le lieu où les rayons OM, OC, ON de l'objet, après avoir traverſé le verre, ſe réuniſſent par la réfraction, & continuent enſuite leur route comme s'ils venoient du point *o* quoiqu'ils prennent naiſſance en O, & point du tout en *o*.

4. Cette circonſtance fait que l'image *o* n'eſt viſible qu'aux yeux qui ſe trouvent quelque part, entre l'angle R*o*Q, comme en S, où un œil recevra effectivement des rayons qui lui viennent du point *o*. Mais un œil placé hors de cet angle, comme en F ou en V, n'en verra rien du tout, puiſqu'aucun des rayons réunis en *o* n'y eſt dirigé : ainſi l'image en *o* difère bien eſſentiellement d'un objet réel : elle n'eſt viſible qu'en certains endroits, & reſſemble en cela à ce qu'on nous raconte des ſpectres.

5. Mais ſi l'on place en *o* une table blanche, & que ſa ſurface en ce point *o* ſoit réellement excitée à un ébranlement ſemblable à celui qui

règne dans l'objet O, cet endroit *o* de la ſurface engendre lui-même des rayons qui le rendent viſible par-tout. Voilà donc la diférence entre l'image d'un objet & ſa repréſentation, faite dans une chambre obſcure : l'image n'eſt viſible qu'en certains endroits, ſavoir dans ceux par où paſſent les rayons qui viennent originairement de l'objet ; au lieu que la peinture, ſoit la repréſentation formée ſur la table blanche, eſt vue par ſes propres rayons excités par le trémouſſement des particules de ſa ſurface, & par conſéquent, par-tout dans la chambre obſcure.

6. On voit auſſi qu'il faut abſolument mettre la table blanche éxactement dans le lieu de l'image formée par le verre ; afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un ſeul point de l'objet : car ſi d'autres rayons y tomboient auſſi, ils troubleroient l'effet de ceux-là, ou rendroient la repréſentation confuſe.

7. Si l'on ôtoit le verre tout-à-fait, & que les rayons trouvaſſent une entrée libre dans la chambre obſcure, la table blanche en ſeroit éclairée ſans qu'on y vît aucune peinture : les rayons des diférens objets tomberoient ſur chaque point de la table & n'y exprimeroient aucune image déterminée. Ainſi la peinture qu'on voit dans une chambre obſcure ſur une ſurface blanche eſt l'effet du verre convèxe fixé au volet ; c'eſt lui qui réunit de nouveau dans un

ſeul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. On obſerve cependant ici un phénomène bien ſingulier, lorſque le trou fait au volet de la chambre obſcure eſt très-petit: quoiqu'il n'y ait point alors de verre, on apperçoit cependant ſur la muraille oppoſée, les images des objets qui ſont en dehors, & même avec leurs couleurs naturelles: mais la repréſentation eſt très-foible & confuſe, & dès qu'on élargit le trou, ce ſpectacle diſparoît entiérement. Je vais expliquer la cauſe de ce phénomène.

Dans la *fig. 6. Tab. VI.* MN eſt la petite ouverture par laquelle les rayons des objets de dehors entrent dans la chambre obſcure EFGH. La muraille FH vis-à-vis du trou eſt blanche, pour mieux recevoir l'impreſſion de toutes ſortes de rayons.

Que le point O marque un objet, dont il n'y a que les rayons OM, ON, avec ceux qui ſe trouvent entr'eux, qui peuvent entrer dans la chambre: ces rayons tomberont ſur le petit eſpace *oo* de la muraille & l'éclaireront: cet eſpace *oo* ſera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN ſera petit: ſi donc ce trou étoit très-petit, nous aurions l'effet précédent, où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un ſeul point de l'objet: il s'y feroit par conſéquent une repréſentation ſemblable à celle que produit le verre convèxe placé dans le trou du volet. Mais dans ce cas-ci, le trou ayant une cer-

taine étendue, quelque petit qu'il ſoit, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit eſpace *o o* ſur la muraille & l'ébranlera par ſes rayons. Il arrivera donc à-peu-près la même choſe que ſi un peintre, au lieu de faire des points ſur le tableau, y faiſoit avec un gros pinceau des taches d'une certaine grandeur, en obſervant toutefois le deſſein & le coloris: ce ſera à un pareil barbouillage que reſſemblera notre repréſentation faite ſur la muraille: cependant elle ſera d'autant plus nette, que le trou par lequel les rayons entreront ſera petit.

le 5 Janvier 1762.

LETTRE CXCVI.

La chambre obſcure n'a proprement d'effet que ſur des objets fort éloignés, mais V. A. ſent bien, que ſon uſage s'étend auſſi à des objets plus voiſins; il faut alors éloigner davantage du verre la table blanche, conformément à cette règle générale, que plus on approche l'objet du verre convèxe, plus l'image, où la table blanche doit être placée, s'en éloigne; & ſi la chambre n'eſt pas aſſez profonde, il faut prendre un verre dont le foyer ſoit plus court.

On pourroit donc placer hors de la chambre, devant le trou où eſt le verre convèxe, un objet quelconque ou un tableau, & on en

verroit une copie ſur la table blanche dans la chambre obſcure, plus grande que l'original, ou plus petite, ſelon que la diſtance de l'image feroit plus ou moins grande: mais il feroit plus commode que l'objet put être expoſé dans la chambre obſcure même, afin que l'on put le manier & le changer comme on le jugeroit à propos. Il ſe préſente une grande difficulté à réſoudre; l'objet deviendroit obſcur lui-même, & par conſéquent incapable de produire l'effet que nous ſouhaiterions.

Il s'agit donc d'éclairer l'objet le plus qu'on pourra dans la chambre obſcure même, ſans que la lumiére puiſſe pénètrer dans la chambre. J'en ai trouvé le moyen; V. A. ſe ſouviendra que je l'ai exécuté dans une machine de cette nature, que j'ai eu l'honneur de lui préſenter il y a ſix ans: & V. A. comprendra bientôt la conſtruction & les principes ſur leſquels elle eſt fondée.

Cette machine conſiſte en une caiſſe bien fermée de tous côtés, à-peu-près ſemblable à la *fig. 7. Tab. VII.* où le côté de derriére EG a une ouverture IK, pour y chaſſer les objets, portraits ou autres peintures OP qu'on veut repréſenter; de l'autre côté vis-à-vis eſt un tuyau MNQR, contenant un verre convèxe MN; ce tuyau eſt mobile, pour pouvoir approcher le verre de l'objet ou l'en éloigner comme on voudra. Alors, pourvu que l'objet OP ſoit bien éclairé, le verre en jettera quelque part l'image *op*, & ſi l'on y place une table

blanche, on y verra une copie parfaite de l'objet, d'autant plus claire que l'objet lui-même sera plus éclairé.

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux aîles à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mèches, & mis dans chaque aîle un miroir qui réfléchit la lumiére des lampes sur les objets O P : au-dessus, en E F est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet O P peut recevoir une très-forte illumination, sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine il faut remarquer les articles suivans :

I. Si l'on enfonce le tuyau M N Q R, ou qu'on approche le verre M N de l'objet O P, l'image *o p* s'éloignera, il faut donc reculer la table blanche pour y recevoir l'image, qui en deviendra plus grande, & même on peut la grossir autant qu'on veut, en approchant davantage le verre M N de l'objet O P.

II. En éloignant le verre de l'objet, la distance de l'image diminuera, il faut alors approcher la table blanche du verre pour avoir une représentation nette & distincte, mais elle sera plus petite.

III. Il est clair que l'image sera toujours renversée, mais il est aisé de remêdier à cet inconvénient, il ne faut que renverser l'objet O P même, en tournant le haut en bas, &

l'image ſera repréſentée debout ſur la table blanche.

IV. C'eſt encore une remarque générale, que plus on groſſit l'image ſur la table blanche moins elle aura de lumiére & ſera plus obſcure : mais ſi l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuſe & plus brillante. La raiſon en eſt évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet ; plus elle eſt répandue dans un grand eſpace, plus elle doit être affoiblie, & plus elle eſt reſſerrée, plus elle ſera brillante.

V. Ainſi, plus on veut groſſir la repréſentation, plus on doit renforcer l'illumination de l'objet, en augmentant la lueur des lampes dans les ailes de la machine ; une illumination médiocre ſuffit.

La machine dont je viens de donner la deſcription, eſt nommée *Lanterne magique*, pour la diſtinguer d'une chambre obſcure ordinaire, dont on ſe ſert pour repréſenter les objets éloignés : la figure a ſans - doute occaſionné le nom de lanterne, ſur-tout parce-qu'on y enferme des lumiéres ; mais l'épithéte de *magique* vient de ce que les premiers poſſeſſeurs ont voulu perſuader au peuple qu'il y avoit de la magie ou du ſortilège. Cependant les lanternes magiques ordinaires ne ſont point conſtruites de cette façon, & ne ſervent à repréſenter d'autres objets que des figures peintes ſur le verre, au lieu que cette machine-ci peut être appliquée à toutes ſortes d'objets.

On peut même s'en ſervir pour repréſenter les plus petits objets, & les groſſir prodigieuſement, deſorte que la plus petite mouche paroîtra auſſi grande qu'un éléphant: mais alors la clarté des lampes ne ſuffit pas; il faut diſpoſer la machine de maniére que les objets puiſſent être éclairés par les rayons du ſoleil renforcés par un verre ardent: la machine change alors de nom, & s'appelle *microſcope ſolaire;* j'aurai occaſion d'en parler plus amplement dans la ſuite.

le 8 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVII.

On ſe ſert auſſi de verres convêxes pour regarder immédiatement à travers: mais pour en expliquer les diférens uſages, il faut pouſſer nos recherches ſur la nature plus loin.

Ayant obſervé la diſtance de foyer d'un tel verre, j'ai déja remarqué que, lorſque l'objet en eſt fort éloigné, ſon image eſt repréſentée dans le foyer même, mais qu'en approchant l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus-en-plus, deſorte que ſi la diſtance de l'objet eſt égale à celle du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, & devient par conſéquent infiniment grande.

C'eſt parceque *Tab. VI. fig.* 7. les rayons

OM, OM, qui tombent du point O ſur le verre, ſont rompus par le verre, enſorte qu'ils deviennent paralleles entr'eux comme NF & NF, & comme les lignes paralleles ſont cenſées courir à l'infini, & que l'image eſt toujours où les rayons, qui ſont ſortis d'un point de l'objet, ſe réuniſſent de nouveau après la réfraction; dans le cas où la diſtance de l'objet OA eſt égale à celle du foyer du verre, le lieu de l'image s'éloigne à l'infini, & puiſqu'il eſt indiférent qu'on conçoive que les lignes paralleles NF & NF concourent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles concourent vers la droite, on peut dire également que l'image ſe trouve tant à droite qu'à gauche, dans un éloignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera facilement en quel lieu l'image doit ſe trouver, lorſqu'on approche davantage l'objet du verre.

Soit OP, *Tab. VI. fig.* 8. l'objet, & puiſque ſa diſtance OA du verre convêxe eſt moindre que ſa diſtance de foyer, les rayons OM, OM qui y tombent du point O ſont trop divergens, pour que la force réfractive du verre puiſſe les rendre paralleles entr'eux: ils ſeront donc encore divergens après la réfraction, comme le marquent les lignes NF, NF, mais beaucoup moins qu'auparavant, ainſi en prolongeant ces lignes en arriére, elles concourront quelque part en *o*, comme V. A. peut le voir dans les lignes ponctuées N*o*,

N *o*. Par conſéquent les rayons NF, NF, après avoir paſſé par le verre, tiennent la même route que s'ils venoient du point *o*, quoiqu'ils n'ayent pas paſſé par ce point, puiſque ce n'eſt que dans le verre qu'ils ont pris cette nouvelle route. Un œil qui reçoit ces rayons réfractés NF, NF ſera donc affecté, comme s'ils venoient du point *o*, & s'imaginera que l'objet de ſa viſion éxiſte en *o*. Il n'y aura pourtant pas d'image comme dans le cas précédent, on auroit beau mettre une table blanche en *o*, il ne s'y repréſenteroit aucun tableau, faute de rayons, c'eſt pourquoi on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'eſt-à-dire, qui n'eſt point réelle: le mot *imaginaire* étant oppoſé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impreſſion que ſi l'objet OP, dont les rayons ſont ſortis originairement, éxiſtoit en *o*. Il eſt donc très-important de connoître, comme dans les cas précédens, le lieu & la grandeur de cette image imaginaire *o p*. Il ſuffit pour le lieu, de remarquer que, ſi la diſtance de l'objet AO étoit égale à la diſtance du foyer du verre, l'image en ſeroit éloignée à l'infini, & c'eſt ce que ce cas a de commun avec le précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la diſtance AO devient plus petite que celle du foyer du verre, plus l'image imaginaire s'approche du verre, quoique pourtant, elle reſte toujours plus éloignée du verre que l'objet même

Pour éclaircir la chofe par un éxemple, fuppofons que la diftance de foyer du verre foit de 6 pouces, & pour les diférens éloignemens de l'objet, la table ci-jointe nous marque la diftance de l'image imaginaire *op*.

Diftance de l'objet AO	Diftance de l'image imaginaire A*o*
6	infinie
5	30
4	12
3	6
2	3
1	1 & un cinquiéme

La règle pour trouver la grandeur de cette image imaginaire *op* eft aifée & générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué C) & par l'extrémité de l'objet P, la ligne droite CP*p*; & à fa rencontre avec la ligne *op* tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, fe trouvera la grandeur de l'image imaginaire *op*; d'où l'on voit que cette image eft toujours plus grande que l'objet même OP, autant de fois qu'elle eft plus éloignée du verre que l'objet OP. On voit auffi que cette image n'eft pas renverfée comme dans le cas précédent, mais debout comme l'objet.

V. A. doit comprendre quel ufage, les perfonnes dont la vue n'eft pas propre à regar-

der les objets de près, & qui les voyent mieux dans un grand éloignement, peuvent tirer de ces verres. Elles n'ont qu'à regarder les objets par des verres convèxes, pour les voir comme s'ils étoient fort éloignés. Le défaut de ne pas bien voir les objets près a lieu ordinairement chez les vieillards, qui se servent en conséquence de lunettes à verres convèxes, qui, exposés au soleil, brûlent comme un verre ardent, ce qui fait connoître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer soit fort court, d'autres d'un foyer plus grand, selon la portée de leur vue; mais il me suffit pour le moment d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

le 12 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVIII.

V. A. a vu comment les verres convèxes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils ne sont effectivement: il y a par-contre des yeux qui demandent, pour voir les objets distinctement, qu'ils leur soient représentés plus près, & ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service: ce qui me conduit à l'explication de

l'effet des verres concaves, directement contraire à celui des verres convèxes.

Lorsque l'objet OP *Tab. VI. fig.* 9. est fort éloigné, & que ses rayons OM, OM tombent prèsque paralleles sur le verre concave TV, alors, au lieu de devenir convergens par la réfraction du verre, ils deviennent plus divergens au contraire, en suivant les routes NF, NF, qui, prolongées en arriére, concourent dans le point *o*; desorte qu'un œil placé par éxemple en E, reçoit ces rayons réfractés de la même maniére que s'ils partoient du point *o*, quoiqu'effectivement ils viennent du point O; & c'est pourquoi j'ai ponctué dans la figure les lignes droites N*o*, N*o*.

Comme l'objet est supposé infiniment éloigné, si le verre étoit convèxe, le point *a* seroit ce qu'on nomme foyer, mais puisqu'il n'arrive ici aucune concurrence réelle de rayons, on nomme ce point, le foyer imaginaire du verre concave; quelques auteurs le nomment aussi *point de dispersion*, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc pas un vrai foyer comme les convèxes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre A *o* est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre & sert, par le moyen d'une règle semblable à celle qu'on donne pour les verres convèxes, à déterminer le lieu de l'i-

mage, lorſque l'objet n'eſt pas infiniment éloigné. Or cette image eſt toujours imaginaire, au lieu que pour les verres convèxes elle ne le devient, que lorſque l'objet eſt plus proche que la diſtance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette règle qui regarde uniquement le calcul, il ſuffit de remarquer :

I. Que lorſque l'objet OP eſt infiniment éloigné, l'image imaginaire *op* eſt repréſentée à la diſtance de foyer du verre concave, & cela vers le même côté que ſe trouve l'objet. Cependant, quoique cette image ſoit imaginaire, l'œil placé en E eſt tout auſſi bien affecté que ſi elle étoit réelle; comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au ſujet des verres convèxes, où l'objet eſt plus proche du verre que ſa diſtance de foyer.

II. Lorſqu'on approche l'objet OP davantage du verre, ſon image *op* s'en approchera davantage auſſi, mais de maniére que l'image ſera toujours plus proche du verre que l'objet, au lieu que pour les verres convèxes, l'image en eſt plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, ſuppoſons que la diſtance de foyer du verre concave ſoit de 6 pouces;

Si la diſtance de l'objet O A eſt	la diſtance de l'image *o* A ſera ;
infinie	6
30	5
12	4
6	3
3	2
2	1 & demi.

III. On détermine toujours par la même règle la grandeur de l'image imaginaire *o p*. On tire du milieu du verre une ligne droite, à l'extrêmité de l'objet P, qui paſſera alors par l'extrêmité *p* de l'image. Car puiſque la ligne P A repréſente un rayon qui vient de l'extrêmité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, paſſe par l'extrêmité de l'image ; mais puiſque ce rayon P A paſſe par le milieu du verre, il ne ſouffre aucune réfraction, il faut donc qu'il paſſe lui-même par l'extrêmité de l'image, qui ſera en *p*.

IV. Cette image n'eſt pas renverſée, mais dans ſon ſens naturel comme l'objet; & l'on peut obſerver cette règle générale, que toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où eſt l'objet, elle eſt toujours repréſentée debout, que le verre ſoit convêxe ou concave ; mais quand elle eſt repréſentée de l'autre côté du verre, elle eſt alors

alors renversée; ce qui ne peut avoir lieu que dans les verres convêxes.

V. Il est donc clair, que les images représentées par les verres concaves sont toujours plus petites que les objets: & la raison en est évidente, puisque les images sont plus proches qu'eux: on n'a qu'à regarder la figure pour s'assûrer de cette vérité. Ce sont les propriétés principales qu'il faut remarquer sur la nature des verres concaves, & la maniére dont ils représentent les objets.

Il est maintenant aisé de comprendre, comment les verres concaves rendent de grands services à ceux qui ont la vue courte. V. A. connoît bien des personnes qui ne sauroient lire ou écrire sans toucher prèsque le papier de leur né. Il faut donc, pour voir distinctement, qu'ils approchent les objets de leurs yeux, & je crois avoir déja remarqué qu'on leur donne le nom de Miopes: les verres concaves leur seront donc d'un excellent usage, car ils leur représentent les objets les plus éloignés, comme fort près: les images n'étant éloignées de ces verres que de la distance de leur foyer qui, pour la plûpart, n'est que de quelques pouces.

Il est vrai que ces images sont beaucoup plus petites que les objets mêmes; mais cela n'aporte aucun obstacle à la vision distincte. Une petite chose peut nous paroître plus grande de près, qu'un très-grand corps fort

éloigné. En effet, une piéce de *deux-dreyer* * paroîtra plus grande à V. A. qu'une étoile du ciel, quoique cette étoile ſurpaſſât de beaucoup la terre en grandeur.

Ceux qui ont la vue courte, ſoit les miopes, ont donc beſoin de verres qui leur repréſentent les objets plus près; tels ſont les verres concaves. Et ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme prèsbites, ont beſoin de verres convèxes, qui leur repréſentent les objets dans un plus grand éloignement.

le 16 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCIX.

J'AI eu l'honneur de dire à V. A. que les miopes ſont obligés de ſe ſervir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, & que les prèsbites font uſage de verres convèxes pour bien voir ceux qui ſont près: chaque vue a une certaine étendue, & chacun voudroit avoir un verre qui lui repréſentât parfaitement les objets. Cette diſtance eſt fort petite chez les miopes, & très-grande chez les prèsbites: mais il y a des yeux ſi bien conditionnés, qu'ils voyent également

* Petite monnoye d'argent un peu plus grande que la prunelle de l'œil, qui eſt la quarante-huitiéme partie d'un écu.

bien les objets voiſins & ceux qui ſont à une grande diſtance.

Cependant, de quelque nature que ſoit la vue d'un homme, la diſtance n'eſt jamais trop petite, il n'y a point de miope qui puiſſe voir diſtinctement à moins de diſtance qu'un pouce; V. A. aura bien obſervé que, lorſqu'elle approche trop un objet de ſes yeux, elle ne le voit que très confuſément, cela dépend de la ſtructure des yeux, qui eſt telle chez les hommes, qu'ils ne peuvent pas voir à trop peu de diſtance: mais il eſt ſûr que les inſectes peuvent voir à de très-petites diſtances, & que les objets fort éloignés leur ſont inviſibles. Je ne crois pas qu'une mouche puiſſe voir les étoiles, parcequ'elle voit très-bien à la diſtance de la dixiéme partie d'un pouce, à laquelle nous ne voyons abſolument rien. Cette conſidération me conduit à l'explication des microſcopes, qui nous repréſentent les plus petits objets, comme s'ils étoient bien grands.

Pour en donner une idée juſte, il faut bien diſtinguer la grandeur apparente de chaque objet, de la véritable; celle-ci fait l'objet de la géomètrie, & reſte invariable tant que le corps demeure dans ſon état. Mais la grandeur apparente peut varier à l'infini, quoique le corps demeure toujours le même. Ainſi les étoiles nous paroiſſent extrêmement petites, quoique leur grandeur véritable ſoit prodigieuſe, parceque nous en ſommes à une

très - grande diſtance. Si nous pouvions en approcher, elles nous paroîtroient plus grandes, d'où V. A. jugera que la grandeur apparente dépend de l'angle que font entr'eux les rayons qui viennent des extrêmités de l'objet dans nos yeux.

Soit POQ *Tab. VII. fig.* 1. l'objet de notre vue, qui, ſi l'œil étoit placé en A, paroîtra ſous l'angle PAQ, nommé l'angle viſuel; & qui nous indique la grandeur apparente de l'objet; d'où il eſt évident, que plus l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit, & qu'il eſt poſſible que les plus grands corps nous paroiſſent ſous un très-petit angle viſuel, pourvû que nous en ſoyons aſſez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, & qu'il le regarde de B, il lui paroîtra ſous l'angle viſuel OBQ, qui eſt viſiblement plus grand que PAQ. Approchons l'œil juſqu'en C, & l'angle viſuel PCQ ſera plus grand encore. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle viſuel ſera PDQ, & en l'approchant juſqu'en E, l'angle viſuel ſera PEQ toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle viſuel devient grand, & la grandeur apparente plus forte. Quelque petit que ſoit l'objet, il eſt donc poſſible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra: il n'y a qu'à s'en approcher autant qu'il faut, pour un angle viſuel auſſi grand. Une mouche aſſez près de l'œil pourra par conſéquent

paroître ſous un angle auſſi grand qu'un éléphant à la diſtance de dix pieds. Il faut dans une telle comparaiſon, ajouter ſoigneuſement la diſtance dans laquelle on ſuppoſe voir l'éléphant; ſans cette condition, on ne diroit abſolument rien ; puiſqu'un éléphant ne nous paroît grand, que quand nous n'en ſommes pas fort éloignés; à la diſtance d'un mille, on ne diſtingue peut-être plus un éléphant d'un cochon, & s'il étoit tranſporté dans la lune, il deviendroit abſolument inviſible, à cauſe de ſa trop petite grandeur apparente; & je pourrois bien dire qu'une mouche me paroît plus grande qu'un éléphant qui ſeroit dans un très-grand éloignement. Ainſi, quand on veut parler avec préciſion, il ne faut pas parler de la grandeur apparente d'un corps, ſans avoir égard à ſa diſtance, puiſque le même corps peut nous paroître très-grand, ou très-petit, ſelon que ſa diſtance eſt plus ou moins grande. Il eſt donc très-facile de voir les plus petits objets ſous de très-grands angles viſuels, on n'a qu'à les tenir à une très-petite diſtance de l'œil.

Cet expédient eſt très-bon pour une mouche, mais les yeux des hommes ne ſauroient rien voir à de trop petites diſtances, quelque courte que ſoit leur vue, d'ailleurs les bonnes vues voudroient voir auſſi les plus petits objets d'une extrême groſſeur. Il s'agit donc de trouver un moyen, par lequel nous puiſſions voir un objet diſtinctement, non-obſtant ſa

grande proximité de l'œil. Les verres convêxes nous procurent cet avantage, en éloignant l'image des objets trop près.

Qu'on se serve d'un verre convêxe très-petit MN, *Tab. VII. fig.* 2. dont la distance de foyer soit longue d'un demi pouce; si l'on place devant, un petit objet OP, à une distance un peu moindre que demi pouce, le verre en représentera l'image en *op*, aussi loin qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derriére le verre, & l'on verra l'objet comme s'il étoit en *o*, & dans un éloignement suffisant, comme si sa grandeur étoit *op*: comme l'œil est supposé très-proche du verre, l'angle visuel sera *pio*, c'est-à-dire, le même que P*i*O, sous lequel l'œil nud verroit l'objet OP dans cette proximité; mais la vision est devenue distincte par le moyen du verre; tel est le principe de la construction des microscopes.

le 19 *Janvier* 1762.

LETTRE CC.

QUAND plusieurs personnes regardent le même objet par un microscope, le pied d'une mouche par éxemple, tous conviennent qu'ils le voyent très-grand, mais leur jugement sur la véritable grosseur sera fort partagé, l'un

dira qu'il lui paroît auſſi grand que celui d'un cheval, un autre que celui d'une chèvre, le troiſiéme que celui d'un chat. Perſonne n'avance donc rien de précis là-deſſus, s'il n'ajoute à quelle diſtance il prétend voir les pieds du cheval, de la chèvre, ou du chat: ils ſous-entendent donc chacun ſans le dire, une certaine diſtance, qui étant ſans-doute diférente, on n'a pas lieu d'être ſurpris de leurs divers ſentimens, puiſqu'un pied de cheval vu de loin peut bien ne pas paroître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainſi, quand il s'agit de dire combien un microſcope groſſit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une maniére plus préciſe, & expliquer principalement la diſtance, dans la comparaiſon qu'on veut faire.

Il ne convient donc pas de comparer les apparences que nous offrent les microſcopes avec les objets d'une autre nature, que nous ſommes accoutumés de voir, tantôt loin, tantôt près; le plus ſûr moyen de règler cette eſtime, ſemble celui dont les auteurs qui traitent des microſcopes, ſe ſervent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microſcope, avec l'aſpect ſous lequel il ſeroit vu à la vue ſimple, en étant éloigné à une certaine diſtance, & ils ſont d'avis que, pour bien contempler ce petit objet à la vue ſimple, il le faut placer à la diſtance de 8 pouces, en ſe règlant ſur de bons yeux, car un miope s'en aprocheroit bien davantage, & un prèsbite ſe-

roit le contraire. Mais cette diférence n'influe pas fur le raifonnement, pourvu qu'on fixe la diftance fur laquelle on fe règle; & aucune raifon ne nous oblige de fixer une autre diftance que celle de 8 pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matiére. Ainfi, quand on dit qu'un microfcope rend les objets 100 fois plus grands, V. A. entendra, qu'à l'aide de ce microfcope, les objets paroiffent 100 fois plus grands que fi nous les regardions à la diftance de 8 pouces, &, par ce moyen, elle fe formera une idée jufte de l'effet d'un microfcope.

En général, un microfcope groffit autant de fois qu'un objet paroît plus grand que fi on le regardoit fans le fecours du verre, à la diftance de 8 pouces. V. A. conviendra bien que c'eft déja un effet furprenant, que de voir un objet 100 fois plus grand qu'il ne paroît à la diftance de 8 pouces: mais on a pouffé la chofe beaucoup plus loin, & l'on a des microfcopes qui groffiffent jufqu'à 500 fois, ce qui eft prodigieux; on pourroit bien dire alors que la jambe d'une mouche paroît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourroit faire des microfcopes qui groffiroient 1000 fois & même 2000 fois, qui nous découvriroient fans-doute quantité de chofes qui nous font encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paroît, par le microfcope, 100 fois plus grand qu'étant

vu à la diſtance de 8 pouces, il faut entendre par-là que l'objet eſt groſſi tant en longueur qu'en largeur & profondeur, deſorte que chacune de ces dimenſions paroît 100 fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la diſtance de 8 pouces un autre objet ſemblable au premier, mais dont la longueur ſoit 100 fois plus grande, de même que ſa largeur & ſa profondeur, & ce ſera l'image qu'on voit par le microſcope. Or ſi la longueur, la largeur & la profondeur d'un objet ſont cent fois plus grandes que celles d'un autre, V. A. ſentira aiſément que toute l'étendue ſera beaucoup plus de 100 fois plus grande: pour mettre cela dans tout ſon jour, concevons deux parallelogrammes ABCD, & EFGH, qui ayent la même largeur *Tab. VII. fig.* 3. mais que la longueur du premier AB ſoit 5 fois plus grande que la longueur de l'autre EF, & il eſt clair que l'aire, ſoit l'eſpace contenu dans le premier, eſt 5 fois plus grande que celle qui eſt renfermée dans l'autre, puiſqu'en effet celui-ci eſt contenu 5 fois dans le premier. Donc pour que le parallelogramme AD ſoit 5 fois plus grand que celui EH, il ſuffit que ſa longueur AB ſoit 5 fois plus grande, pendant que la largeur eſt la même; & ſi outre cela la largeur étoit auſſi 5 fois plus grande, il deviendroit encore 5 fois plus grand, & par conſéquent 5 fois 5 fois, c'eſt-à-dire, 25 fois plus grand. Ainſi, de deux ſurfaces, ſi l'une eſt 5 fois plus longue & 5 fois plus

large que l'autre, elle eſt effectivement 25 fois plus grande.

Si nous mettons encore en ligne de compte la profondeur ou hauteur, l'augmentation ſera plus grande encore. Que V. A. conçoive deux chambres, dont l'une ſoit 5 fois plus longue, 5 fois plus large & 5 fois plus haute que l'autre: ſa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'eſt-à-dire 125 fois plus grande. Donc, lorſqu'on dit qu'un microſcope groſſit 100 fois, puiſqu'on doit l'entendre tant de la longueur que de la largeur & profondeur ou épaiſſeur, c'eſt-à-dire, trois dimenſions, toute l'étendue de l'objet ſera augmentée 100 fois 100 fois 100 fois; or 100 fois 100 fait 10000, qui étant pris encore 100 fois, donne 1,000,000, ainſi quand un microſcope groſſit 100 fois, l'étendue entiére de l'objet eſt repréſentée 1,000,000 fois plus grande. On ſe contente cependant de dire, que le microſcope ne groſſit que 100 fois; mais il faut entendre que chaque dimenſion, ſavoir la longueur, la largeur & la profondeur eſt repréſentée 100 fois plus grande. Si donc un microſcope groſſiſſoit 1000 fois, l'étendue entiére de l'objet deviendroit 1000 fois 1000 fois 1000 fois plus grande, ce qui fait 1,000,000,000 ou mille millions, ce qui ſeroit un effet prodigieux. Cette remarque eſt bien néceſſaire pour ſe former une idée juſte de ce qu'on dit ſur la force des microſcopes.

le 23 *Janvier* 1762.

LETTRE CCI.

AYANT expliqué à V. A. de quelle maniére on doit juger de la force des microſcopes, il me ſera facile de démontrer la propoſition fondamentale pour la conſtruction des microſcopes ſimples. Je dois remarquer à cette occaſion, qu'il y a deux ſortes de microſcopes, les uns d'un ſeul verre, & les autres de deux ou pluſieurs, qui portent le nom de microſcopes ſimples, & de microſcopes compoſés, & qui éxigent des éclairciſſemens particuliers. J'entretiendrai V. A. en premier lieu des microſcopes ſimples, qui ne conſiſtent que dans un ſeul verre convêxe, dont l'effet eſt déterminé par cette propoſition : *Un microſcope ſimple groſſit autant de fois que ſa diſtance de foyer eſt plus près que 8 pouces*, en voici la démonſtration.

Soit MN *Tab. VII. fig.* 4. un verre convêxe dont la diſtance de foyer ſoit C O, à laquelle il faut placer l'objet O P, à-peu-près, afin que l'œil le voye diſtinctement ; il verra cet objet ſous l'angle OCP. Mais ſi l'on le regardoit à la diſtance de 8 pouces, il paroîtroit ſous un angle autant de fois plus petit que la diſtance de 8 pouces ſurpaſſe la diſtance C O ; l'objet paroîtra donc autant de fois plus grand que ſi on le regardoit à la diſtance de 8 pouces. Or, ſelon la règle établie ci-deſſus, un microſcope

groſſit autant de fois, qu'il nous préſente les objets plus grands que ſi nous les regardions à la diſtance de 8 pouces. Par conſéquent un microſcope groſſit autant de fois, que ſa diſtance de foyer eſt plus petite que 8 pouces. Donc un verre, dont la diſtance de foyer eſt 1 pouce, groſſit préciſément 8 fois, & un verre dont la diſtance de foyer n'eſt qu'un demi-pouce groſſira 16 fois. On diviſe un pouce en 12 parties qu'on nomme *lignes*, deſorte qu'un demi-pouce contient 6 lignes; de-là il ſera aiſé de dire combien de fois chaque verre, dont la diſtance de foyer eſt donnée en lignes, doit groſſir, ſelon cette table.

Diſtance de foyer du verre en lignes

	12.	8.	6.	4.	3.	2.	1.	$\frac{1}{2}$ lignes
Groſſit	8.	12.	16.	24.	32.	48.	96.	192 fois.

Ainſi un verre convèxe, dont la diſtance de foyer eſt une ligne, groſſit 96 fois; & ſi la diſtance eſt d'une demi-ligne, le microſcope groſſira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on vouloit des effets plus grands, il faudroit faire des verres dont le foyer fut encore plus petit. Or j'ai déja remarqué que pour faire un verre d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égale à cette diſtance de foyer, deſorte que le verre devienne également convèxe des deux côtés. Je vais donc expoſer *Tab. VII. fig. 5.* aux yeux de V. A. les deſſeins de quelques-uns de ces verres, ou microſcopes.

I. La diſtance de foyer de ce verre A O eſt d'un pouce ſoit 12 lignes. Ce microſcope groſſit donc 8 fois.

II. La diſtance de foyer du verre MN eſt de 8 lignes. Ce microſcope groſſit 12 fois.

III. La diſtance de foyer du verre M N eſt de 6 lignes. Ce microſcope groſſit 16 fois.

IV. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 4 lignes. Ce microſcope groſſit 24 fois.

V. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 3 lignes. Ce microſcope groſſit 32 fois.

VI. La diſtance de foyer de ce verre eſt de 2 lignes. Ce microſcope groſſit 48 fois.

VII. La diſtance de foyer de ce verre n'eſt que d'une ligne. Ce microſcope groſſit 96 fois.

On peut faire des microſcopes beaucoup plus petits encore. Les artiſtes en éxécutent, & nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus conſidérables, par où il faut bien remarquer, que la diſtance de l'objet au verre devient de plus en plus petite, puiſqu'elle doit être à-peu-près égale à la diſtance de foyer du verre. Je dis à-peu-près, parceque chaque œil y approche le verre tant ſoit peu plus ou moins ſelon ſa conſtitution; les miopes l'approchent davantage, & les prèsbites moins. V. A. voit donc, que plus l'effet eſt grand, plus le verre ou le microſcope devient petit, & plus auſſi il faut approcher l'objet: ce qui eſt un très-grand inconvénient, puiſque d'un côté il eſt incommode de regarder à travers un ſi petit verre, & d'un autre parceque l'objet doit être fixé ſi

près de l'œil. On tâche de remêdier à ces inconvéniens par une garniture convenable, qui en facilite l'usage, mais la vision de l'objet se trouble considérablement, dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement, & comme dans les plus petits verres l'objet doit prèsque les toucher, dès que la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne le voit que confusément. Car quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités sont trop éloignées & ne sauroient être vues que très-confusément. C'est ce qui nous oblige à renoncer aux microscopes simples quand on en souhaite qui grossissent beaucoup, & de recourir aux microscopes composés.

le 26 Janvier 1762.

LETTRE CCII.

V. A. vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter, on n'a qu'à fixer une ligne droite de 8 pouces, comme celle que j'ai marqué AB * *Tab. VII. fig. 6.* qui contienne précisément 8 pouces du pied du Rhin dont on se sert par-tout en Allemagne. Alors, autant de fois que l'on veut grossir-

* Dans l'impossibilité de représenter ici une ligne droite, de huit pouces, on en a mis une de quatre.

ſir l'objet, il faut partager cette ligne AB en autant de parties égales, dont une donnera la diſtance de foyer du verre demandé. Ainſi, ſi l'on veut groſſir cent fois, la particule A 1 eſt la centiéme partie de la ligne AB, par conſéquent il faut faire un verre, dont la diſtance de foyer ſoit préciſément égale à cette partie A 1, qui donnera en même tems le rayon des faces du verre qui eſt repréſenté art. VII. de la figure ci-deſſus.

V. A. voit par-là, que plus l'effet eſt grand, plus le verre doit être petit, de même que la diſtance de foyer à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre, en appliquant l'œil par derriére; & ſi l'on faiſoit le verre deux fois plus petit que je ne l'ai déſigné, pour groſſir deux cent fois, il deviendroit ſi petit, qu'il faudroit prèſque un microſcope pour voir le verre lui-même; auſſi faudroit-il s'approcher ſi près qu'on toucheroit prèſque le verre, ce qui eſt un très-grand inconvénient, comme j'ai déja eu l'honneur de l'obſerver: deſorte qu'on ne ſauroit prèſque pouſſer l'effet du microſcope au-delà de deux cent fois; ce qui ne ſuffit pas pour voir les plus petites choſes que renferme la nature. L'eau la plus claire contient de petits animalcules, qui, quoiqu'on les voye groſſis 200 fois, ne laiſſent pas de paroître comme des puces, & il faudroit des microſcopes qui groſſiſſent 20000 fois pour les voir de la grandeur d'un rat, & il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce dégré, même avec les microſcopes compoſés.

Mais outre les inconvéniens des microſcopes ſimples que je viens de remarquer, tous ceux qui ſe ſervent de ces inſtrumens, ſe plaignent, quand ils en éxigent de très-grands effets, d'un autre qui n'eſt pas moins facheux, c'eſt que plus on groſſit les objets plus ils paroiſſent obſcurs; il ſemble qu'on les voit à la lueur d'une lumiére très-foible, ou même au clair de la lune, deſorte qu'on ne ſauroit prèſque rien y diſtinguer. V. A. n'en ſera pas ſurpriſe, lorſqu'elle voudra ſe ſouvenir, que la lumiére de la pleine lune eſt au-delà de deux cent mille fois plus foible que celle du ſoleil. Il eſt donc bien important d'expliquer d'où vient cette diminution de lumiére; on comprend aiſément que, ſi les rayons qui viennent d'un très-petit objet, doivent nous le repréſenter comme s'il étoit beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumiére ne ſauroit être ſuffiſante: cependant, quelque fondée que paroiſſe cette raiſon, elle n'eſt pas valable, & ne fait que nous ébloüir ſur cette queſtion. Car ſi le verre, en groſſiſſant davantage, entraîne après lui néceſſairement une diminution de clarté, on devroit auſſi s'en appercevoir dans les moindres effets, à ſuppoſer même que ce ne fut pas à un ſi haut dégré; mais on peut groſſir juſqu'à 50 fois, ſans appercevoir la moindre diminution de lumiére, qui cependant devroit être 50 fois plus foible, ſi la raiſon alléguée étoit juſte. Il faut donc chercher ailleurs la cauſe de ce phénomène

nomène & il faut même remonter aux premiers principes de la viſion.

Je prie, à cette occaſion, V. A. de ſe rappeller ce que j'ai eu l'honneur de lui dire ſur l'uſage de la pupille, ſoit de ce trou noir, qu'on voit dans l'œil ſur le milieu de l'iris. C'eſt par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux; ainſi, plus cette ouverture eſt grande, plus il entre de rayons. Il faut conſidérer ici deux cas où les objets ſont fort lumineux & brillans, & où ils ne ſont éclairés que d'une lumiére fort foible. Dans le premier la pupille ſe contracte elle-même, ſans que notre volonté le commande, & le Créateur la pourvût de cette faculté, pour préſerver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lumiére, qui bleſſeroit infailliblement les nerfs. Toutes les fois donc qu'on ſe trouve dans un lieu fort éclairé, on voit que toutes les pupilles ſe rétréciſſent, pour ne laiſſer entrer dans les yeux, qu'autant de rayons qu'il en faut pour y dépeindre une image aſſez lumineuſe. Mais il arrive le contraire lorſqu'on ſe trouve dans un lieu ſombre, la pupille s'agrandit alors pour recevoir la lumiére en plus grande quantité. Il eſt fort aiſé de remarquer ce changement, toutes les fois qu'on paſſe d'un lieu obſcur dans un autre fort éclairé. Pour le ſujet dont il s'agit ici, je me borne à cette circonſtance, que plus il entre de rayons dans l'œil, plus l'image portée ſur la rétine ſera lumineuſe; & réciproquement, plus la quantité de

rayons qui entrent dans l'œil, eſt petite, plus l'image y devient foible, & paroît par conſéquent plus obſcure. Il peut arriver qu'il n'entre que fort peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille ſoit bien ouverte; on n'a qu'à faire un petit trou avec une épingle dans une carte, & regarder quelqu'objet; alors, quelqu'éclairé qu'il ſoit du ſoleil, il paroîtra d'autant plus ſombre que le trou eſt plus petit, on peut même regarder le ſoleil à travers. La raiſon en eſt bien évidente, puiſqu'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons: quelqu'ouverte que ſoit la pupille, c'eſt le trou du carton qui détermine la quantité de lumiére qui entre dans l'œil, & non la pupille, qui fait ordinairement cette fonction.

Il arrive la même choſe *Tab. VII. fig.* 8. dans les microſcopes qui groſſiſſent beaucoup, car lorſque le verre eſt extrêmement petit, il n'y paſſe qu'une fort petite quantité de rayons comme *mn*, qui étant plus petite que l'ouverture de la pupille, fait paroître l'objet d'autant plus obſcur; on voit par-là que cette diminution de lumiére n'a lieu, que lorſque le verre MN, ou plutôt ſa partie ouverte, eſt plus petite que la pupille. S'il étoit poſſible de produire un grand groſſiſſement par le moyen d'un verre plus grand, cet obſcurciſſement n'auroit pas lieu, & c'eſt la véritable explication de la queſtion. Pour rémédier à cet inconvénient, dans les grands effets du microſcope, on tâche d'éclairer l'objet autant qu'il eſt poſſible, pour

rendre plus fort le peu de rayons qui eſt porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le ſoleil même, & on ſe ſert auſſi de miroirs qui y renvoyent la clarté du ſoleil. Ce ſont à-peu-près toutes les circonſtances à conſidérer dans les microſcopes ſimples, & V. A. jugera aiſément par-là de l'effet de tous ceux qu'elle aura occaſion de voir.

le 30 Janvier 1762.

LETTRE CCIII.

AVANT que d'expliquer la conſtruction des microſcopes compoſés, j'eſpère qu'une digreſſion ſur les lunettes ſoit téleſcopes ne déplaira point à V. A. Ces deux eſpèces d'inſtrumens ſont parfaitement liés enſemble : l'un ſert à mieux éclaircir l'autre. Comme les microſcopes ſervent à conſidérer les objets voiſins, en nous les repréſentant ſous un angle beaucoup plus grand que ſi nous les regardions à une certaine diſtance, comme de 8 pouces, l'autre eſpèce eſt deſtinée à nous découvrir mieux les objets fort éloignés, en nous les repréſentant ſous un angle plus grand qu'à la vue ſimple. Ces inſtrumens portent pluſieurs noms, tant ſelon leur groſſeur, que ſelon leur deſtination ; les plus petits ſont nommés lunettes de poche, d'autres plus grandes ont le même nom, qu'il

faut bien diſtinguer des lunettes, que les vieillards portent ſur le nez. Ceux dont ſe ſervent les aſtronomes, ſont nommés tubes; or le nom général de tous eſt celui de téleſcope. Ce ſont donc ces inſtrumens qui nous repréſentent les objets fort éloignés, ſous un plus grand angle qu'ils ne paroiſſent à la vue ſimple; cette définition eſt très-juſte & ne renferme rien d'arbitraire, comme celle des microſcopes, dont l'effet eſt rapporté arbitrairement à une certaine diſtance, qu'on ſuppoſe communément de 8 pouces.

Mais lorſqu'il s'agit d'objets fort éloignés, dont la diſtance eſt trop grande pour notre vue, l'effet ſe rapporte très-naturellement à la même diſtance, & un téleſcope groſſit autant de fois, qu'il nous repréſente les objets ſous un angle plus grand qu'à la vue ſimple. Par exemple, la lune paroît à la vue ſimple ſous un angle d'un demi-dégré; par conſéquent un téleſcope groſſit 100 fois, lorſqu'il nous repréſente la lune ſous un angle de 50 dégrés, qui eſt 100 fois plus grand qu'un demi-dégré: s'il groſſiſſoit 200 fois, il feroit voir la lune ſous un angle de 100°; & la lune paroîtroit alors remplir plus de la moitié du ciel viſible, dont toute l'étendue n'eſt que de 180 dégrés.

On dit communément que les téleſcopes nous approchent les objets, ce qui eſt une maniére de parler fort équivoque, qui admet deux ſignifications diférentes. L'une, que voyant par un téleſcope, nous jugeons les objets au-

tant de fois plus proches de nous, qu'il les grossit. Mais j'ai déja eu l'honneur de faire remarquer à V. A. que nous ne saurions connoître les distances des objets, que par le jugement, & que ce jugement ne sauroit avoir lieu que dans les objets peu éloignés; donc, lorsqu'ils le sont autant que nous le supposons ici, ce jugement sur les distances tromperoit beaucoup. L'autre signification, par laquelle on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage, est plus conforme à la vérité. V. A. sait que, plus on s'approche d'un objet, plus l'angle sous lequel il paroît, devient grand; ainsi, cette explication revient à celle que j'ai donné au commencement. Cependant, lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloignement, & qu'on les voit par une lunette sous un angle beaucoup plus grand, on est porté à s'imaginer que ces hommes sont beaucoup plus proches, puisqu'alors on les verroit effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme le soleil & la lune, aucune estime de distance ne peut avoir lieu. Ce cas est tout-à-fait diférent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A. où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte, représente les images des objets à une fort petite distance: le verre concave, par exemple, dont je me sers, me représente les images de

tous les objets éloignés, à la diſtance de 4 pouces; cependant je ne m'imagine point que le ſoleil, la lune & les étoiles ſoient ſi près de moi; ainſi nous ne jugeons point que les objets ſoient où leurs images ſe trouvent repréſentées par les verres: nous le croyons auſſi peu que l'éxiſtence des objets dans nos yeux, quoique leurs images y ſoient dépeintes: & V. A. ſe ſouviendra bien, que le jugement ſur la véritable diſtance des objets, & ſur leur véritable grandeur, dépend de circonſtances toutes particuliéres.

Le but principal des téleſcopes eſt donc de groſſir ou de multiplier l'angle ſous lequel les objets paroiſſent à la vue ſimple; & la diviſion principale des téleſcopes ſe calcule ſelon l'effet qu'ils procùrent; deſorte qu'on dit que tel téleſcope groſſit 5 fois, un autre 10, un autre 20 ou 30 & ainſi de ſuite. Je remarque à cet égard que les lunettes de poche groſſiſſent rarement au-delà de 10 fois; mais les lunettes ordinaires, dont on ſe ſert pour éxaminer les objets terreſtres fort éloignés, groſſiſſent depuis 20 juſqu'à 30 fois & leur longueur monte juſqu'à 6 pieds & au-delà. Un effet pareil, quoique très-conſidérable par rapport aux objets terreſtres, eſt encore peu de choſe pour les corps céleſtes, qui demandent un effet beaucoup plus grand. C'eſt pourquoi on a des lunettes aſtronomiques ou des tubes, qui groſſiſſent depuis 50 juſqu'à 200 fois, & il paroît difficile d'aller plus loin, puiſque, ſelon la ma-

niére ordinaire de les conſtruire, plus l'effet eſt grand, plus elles deviennent longues. Une lunette qui doit groſſir 100 fois a déja 30 pieds de longueur, & une de 100 pieds peut à peine groſſir 200 fois. V. A. doit donc comprendre que la difficulté de diriger & de manier de telles machines, met des obſtacles inſurmontables à pouſſer l'expérience plus loin. Le fameux Hévélius, aſtronome de Dantzig, ſe ſervoit de tubes de 200 pieds, mais ces inſtrumens étoient ſans-doute fort défectueux, puiſqu'on découvre les mêmes choſes aujourd'hui avec de beaucoup plus courts.

Telle eſt en gros la deſcription des téleſcopes & de leurs diverſes eſpèces, qu'il eſt bon de bien remarquer, avant que d'entrer dans le détail de leur conſtruction, & de la maniére dont on joint deux ou pluſieurs verres, pour produire tous les diférens effets.

le 2 Février 1762.

LETTRE CCIV.

On ne ſait pas trop à qui nous ſommes redevables de la découverte des teleſcopes; ſi c'eſt à un artiſan Hollandois, ou à un Italien nommé Porta. Quoiqu'il en ſoit, il y a près de 150 ans qu'on a commencé à faire de petites lunettes de poche, composées de deux

verres, dont l'un étoit convèxe & l'autre concave. Il ſemble que c'eſt au haſard ſeul que l'on ſoit redevable d'une découverte ſi utile. On a pu, ſans aucun deſſein, rapprocher ou éloigner deux verres, juſqu'à-ce que les objets ont paru diſtinctement.

Le verre convèxe PAP *Tab. VII. fig.* 9. eſt dirigé vers l'objet, & c'eſt au verre concave QBQ qu'on applique l'œil; c'eſt pourquoi le verre PAP eſt nommé l'objectif & le verre QBQ l'oculaire. Ces deux verres ſont diſpoſés ſur le même axe AB, perpendiculaire ſur l'un & l'autre verre, & qui paſſe par le milieu. La diſtance de foyer du verre convèxe PAP doit être plus grande que celle du verre concave, & les verres doivent être diſpoſés de maniére que, ſi AF eſt la diſtance du foyer de l'objectif PAP, le foyer de l'oculaire QBQ tombe dans le même point F, ainſi, l'intervalle entre les verres AB, eſt la diférence entre les diſtances de foyer des deux verres; AF étant la diſtance de foyer de l'objectif & BF celle de l'oculaire. Quand les verres ſont placés, ceux qui ont la vue bonne, verront fort bien les objets éloignés, qui leur paroîtront autant de fois plus grands, que la ligne AF eſt plus grande que BF. Ainſi, prenant la diſtance de foyer de l'objectif de 6 pouces, & celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets ſeront groſſis 6 fois, ou paroîtront ſous un angle ſix fois plus grand qu'à la vue ſimple, & dans ce cas, l'intervalle entre les ver-

res AB sera de 5 pouces, ce qui est en même tems la longueur de la lunette. V. A. sent bien, sans que je le lui dise, que ces deux verres sont enchassés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aye pas exprimé dans la figure.

Après avoir exposé de quelle maniére les deux verres doivent être joints ensemble, pour qu'il en résulte un bon instrument, il y a deux choses que je dois faire remarquer à V. A.; l'une, pourquoi ces verres nous représentent distinctement les objets, & l'autre pourquoi ils paroissent grossis autant de fois, que la ligne AF surpasse la ligne BF. Par rapport à la premiére, il faut remarquer, qu'une bonne vue voit mieux les objets, lorsqu'ils sont si éloignés qu'on puisse regarder les rayons qui tombent dans l'œil, comme paralleles entr'eux.

Considérons donc *Tab. VII. fig.* 10. un point V dans l'objet vers lequel est dirigé la lunette, & puisqu'on le suppose fort éloigné, les rayons qui tombent sur l'objectif PQ, OAPQ seront prèsque paralleles entr'eux; ainsi, l'objectif QAQ étant un verre convèxe, le réunira dans son foyer F, desorte que ces rayons étant convergens ne conviendroient point à une bonne vue. Or le verre concave en B, ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergens, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons QR & QR, ensorte qu'ils deviendront paralleles entr'eux,

ou bien, au lieu de se réunir en F, ils prendront la route RS, RS parallele à l'axe BF; ainsi, une bonne vue, sur laquelle on se régle toujours dans la construction de ces instrumens, en recevant ces rayons paralleles RS, BF, RS, verra distinctement l'objet. Les rayons RS, RS deviennent précisément paralleles entr'eux, parceque le verre concave a son foyer, ou plutôt son point de dispersion, en F.

V. A. doit se souvenir que, lorsque les rayons paralleles tombent sur un verre concave, ils deviennent divergens par la réfraction, ensorte qu'étant continués en arriére, ils se rendent dans le foyer. Cela posé, nous n'avons qu'à renverser le cas, & regarder les rayons SR, SR, comme incidens sur le verre concave, alors il est certain qu'ils prendront les routes RQ RQ, qui, continuées en arriére, se rendent au point F, où est le foyer commun des verres convêxe & concave. Maintenant c'est une loi générale que, de quelque maniére que les rayons soient rompus, en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours souffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Si donc les rayons réfractés RQ, RQ, répondent aux rayons incidens SR, SR; alors, réciproquement, si les rayons QR, QR sont les incidens, les réfractés seront RS & RS.

La chose deviendra peut-être plus claire encore quand je dirai, que les verres conca-

ves ont le pouvoir de rendre paralleles ces rayons qui, ſans la réfraction, ſe rendoient dans leurs foyers. Ou bien V. A. n'a qu'à bien ſaiſir les règles ſuivantes ſur la réfraction, tant des verres convèxes que concaves.

I. Par un verre convèxe *Tab. VII. fig.* 11. les rayons paralleles deviennent convergens.
Les convergens deviennent encore plus convergens, *Tab. VIII. fig.* 1.
Or les divergens deviennent moins divergens.
II. Par un verre concave les rayons paralleles deviennent divergens *Tab. VIII. fig.* 2.
Les divergens deviennent encore plus divergens *Tab. VIII. fig.* 3.
Or les convergens deviennent moins convergens.

Tout cela eſt fondé ſur la nature de la réfraction & de la figure des verres, dont le détail demanderoit des diſcuſſions trop longues, & outre cela, les deux règles que je viens de rapporter en renferment l'eſſentiel. Il eſt donc ſuffiſamment prouvé que, lorſque le verre convèxe & le verre concave ſont joints de façon qu'ils acquiérent un foyer commun en F, les objets éloignés en ſeront repréſentés diſtinctement, puiſque le parallelisme entre les rayons eſt rétabli par le verre concave, après que le verre convèxe les a rendus convergens. Ou bien, les rayons des objets fort éloignés étant preſque paralleles entr'eux, deviennent convergens par les verres convèxes,

& enſuite le verre concave détruit cette convergence, & rend les rayons de nouveau paralleles entr'eux.

le 6 Février 1762.

LETTRE CCV.

Il me reſte encore à faire voir à V. A. l'article principal ſur les lunettes ; c'eſt celui qui regarde leur effet, en groſſiſſant les objets. J'eſpère de le mettre dans un tel jour, que toute eſpèce de doute ſera diſſipé : pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propoſitions ſuivantes.

I. Soit E*e* l'objet ſitué ſur l'axe de la lunette *Tab. VIII. fig.* 4. qui traverſe les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Or il faut conſidérer cet objet *Ee* comme infiniment éloigné.

II. Si donc l'œil placé en A regarde cet objet, il le verra ſous l'angle EA*e*, nommé ſon angle viſuel. Ainſi il faut prouver, qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paroîtra ſous un plus grand angle, & éxactement autant de fois plus grand que la diſtance de foyer du verre objectif PAP ſurpaſſe celle de l'oculaire QBQ.

III. Comme l'effet de tous les verres conſiſte

à représenter les objets dans un autre lieu, & avec une certaine grandeur, nous n'avons qu'à éxaminer les images, qui seront successivement représentées par les deux verres, dont la derniére est l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or l'objet E*e* étant infiniment éloigné du verre convèxe PAP, son image sera représentée derriére le verre en Ff, desorte que AF soit égal à la distance de foyer du verre; & la grandeur de cette image F*f* est déterminée par la ligne droite *f*A*e* tirée de l'extrêmité de l'objet *e* par le milieu du verre A, par où l'on voit que cette image est renversée, & autant de fois plus petite que l'objet, que la distance AF est plus petite que la distance AE.

V. Maintenant cette image F*f* tient lieu de l'objet, par rapport au verre oculaire QBQ: puisque les rayons qui tombent sur ce verre sont ceux mêmes qui voudroient prèsque former l'image F*f*, mais sont interceptés dans leur route par le verre concave QBQ: desorte que cette image n'est qu'imaginaire; l'effet est cependant le même que si elle étoit réelle.

VI. Cette image F*f*, que nous regardons à présent comme un objet, se trouvant à la distance de foyer du verre QBQ, sera transportée prèsque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque

cette nouvelle image en Gg, dont la diſtance AG doit être conçue comme infinie, & les rayons réfractés pour la ſeconde fois par le verre QBQ, tiendront la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image G*g*.

VII. Cette ſeconde image G*g* étant donc l'objet de celui qui regarde par la lunette, on en doit conſidérer la grandeur. Pour cet effet, puiſqu'elle naît de la premiére image F*f* par la réfraction du verre QBQ, ſuivant la règle générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B une ligne droite, qui paſſe par *f* de la premiére image, & la ligne marquera en *g* l'extrêmité de la ſeconde image.

VIII. Que le ſpectateur tienne à préſent ſon œil en B; & puiſque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route, comme s'ils venoient effectivement de l'image G*g*, elle lui paroîtra ſous l'angle GB*g*, qui eſt viſiblement plus grand que l'angle EA*e*, ſous lequel l'objet E*e* paroît à la vue ſimple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il eſt d'abord clair que l'angle EA*e* eſt égal à l'angle FA*f* qui lui eſt oppoſé par la pointe; de la même maniére l'angle GB*g* eſt égal à l'angle FB*f*, puiſqu'ils ſont oppoſés par la pointe en B. Il s'agit donc de prouver que l'angle FB*f* ſurpaſſe l'angle FA*f*, autant de fois que la ligne AF ſurpaſſe la ligne BF, dont celle-là AF eſt la diſtance de fo-

yer de l'objectif, & celle-ci BF la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géomêtrie sur la nature des secteurs. V. A. se souviendra qu'un secteur est une partie de cercle, renfermée entre deux rayons. CM & CN, est un arc ou portion de la circonférence MN. Ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer, 1°. le rayon du cercle CM ou CN; 2°. la quantité de l'arc MN; & 3°. l'angle MCN.

XI. Considérons maintenant *Tab. VIII. fig. 5.* deux secteurs MCN & *mcn* dont les rayons CM & *cm* soient égaux entr'eux, & il est prouvé dans les élémens de géomêtrie, que les angles C & *c* tiennent entr'eux le même rapport, que les arcs MN & *mn*, ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc MN est plus grand que l'arc *mn*: mais au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci, les angles C & *c* sont proportionnels aux arcs MN & *mn*, lorsque les rayons sont égaux.

XII. Considérons aussi *Tab. VIII. fig. 6.* deux secteurs MCN & *mcn*, dont les angles C & *c* soient égaux entr'eux, mais les rayons inégaux; & il est prouvé dans la géomètrie, que l'arc MN est autant de fois plus grand que l'arc *mn*, que le rayon CM est plus grand que *cm*; ou bien on dit, que les arcs sont proportionels aux rayons, lorsque les

angles ſont égaux. La raiſon en eſt évidente, puiſque chaque arc contient autant de dégrés que ſon angle, & que les dégrés d'un grand cercle, ſont plus grands que ceux d'un petit, autant de fois que le grand rayon ſurpaſſe le petit.

XIII. Conſidérons enfin auſſi le cas, *Tab. VIII. fig.* 7. où dans les deux ſecteurs MCN & *mcn* les arcs ſont égaux entr'eux ſavoir MN = *mn* & les rayons CM & *cm* inégaux.

Alors l'angle C qui répond au grand rayon CM eſt plus petit, & l'angle *c* qui répond au petit rayon *cm* plus grand, & cela dans le même rapport que les rayons. Ou bien l'angle *c* eſt autant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon CM eſt plus grand que le rayon *cm*: ou bien, pour parler en géomètre, les angles ſont réciproquement proportionels aux rayons, lorſque les arcs ſont égaux.

XIV. Cette derniére conſidération me conduira à mon but, en y ajoutant cette réflèxion, que lorſque les angles ſont fort petits comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs MN & *mn* ne diférent pas ſenſiblement de leurs cordes, ou des lignes droites MN & *mn*.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig.* 4. *Tab. VIII.*; les triangles FA*f* & FB*f* peuvent être conſidérés comme des ſecteurs, où l'arc F*f* eſt le même de part & d'autre.

Par

Par conséquent l'angle FBf surpasse autant de fois l'angle FAf que la distance AF surpasse la distance BF. Ou bien l'objet Ee paroîtra dans la lunette sous un angle autant de fois plus grand, que la distance de foyer de l'objectif AF, surpasse la distance de foyer de l'oculaire BF, ce qu'il falloit démontrer.

le 9 Fevrier 1762.

LETTRE CCVI.

V. A. comprend aisément qu'on ne sauroit prétendre de trop grands avantages de ces petites lunettes, & j'ai déja remarqué qu'elles ne grossissent les objets que de 10 fois. Si on vouloit pousser leur force plus loin, non-seulement la longueur en deviendroit trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y auroit encore d'autres défauts plus essentiels, auxquels elles seroient sujettes; ce qui a obligé les artistes de renoncer tout-à-fait à cette espèce de lunettes, dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts consiste dans la petitesse du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à V. A. cet article important qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un télescope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés sur la ter-

re, l'eſpace qu'on découvre paroît ſous la figure d'un cercle, & on ne voit que les objets qui ſe trouvent dans cet eſpace; deſorte que ſi l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la poſition de l'inſtrument. Cet eſpace circulaire, qui ſe préſente aux ſpectateurs, eſt nommé le *champ apparent*, ou ſimplement le champ de l'inſtrument: & V. A. conviendra aiſément, que c'eſt un grand avantage, lorſque ce champ eſt fort grand, & qu'un très-petit champ eſt au contraire un grand défaut dans ces ſortes d'inſtrumens. Conſidérons deux lunettes, qu'on ait dirigées vers la lune, & que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit toute entiére avec les étoiles voiſines; le champ de celle-ci eſt donc beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui préſente un plus grand champ nous diſpenſe, non-ſeulement de l'embarras de changer ſi ſouvent de poſition, mais fait jouïr d'un avantage très-grand, celui de pouvoir comparer, en les voyant en même tems, pluſieurs parties de l'objet entr'elles.

C'eſt donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un téleſcope lorſqu'il donne un plus grand champ; il eſt donc très-intéreſſant de méſurer le champ de tous ces inſtrumens. Dans cette vue on ſe règle ſur le ciel, & on détermine l'eſpace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en méſurant le diamètre en dégrés & minutes; ainſi, comme le diamètre apparent de la pleine lune eſt environ

d'un demi dégré, ſi une lunette ou un téleſcope ne découvre que la lune, on dit que le diamêtre de ſon champ eſt d'un demi dégré : ſi l'on ne voyoit à la fois que le quart de la lune, le diamêtre du champ ſeroit un quart de dégré.

La meſure des angles nous fournit donc le moyen de méſurer le champ apparent, & la choſe eſt d'ailleurs claire d'elle-même. Suppoſons dans la *fig.* 8. *Tab. VIII.* qu'on ne voye par l'inſtrument A B que l'eſpace P O P, & les objets qui y ſont contenus. Cet eſpace étant un cercle, ſon diamêtre ſera ſur la ligne P O P dont le milieu O ſe trouve dans l'axe de l'inſtrument. Tirant donc des extrêmités P P les lignes droites P C, P C, l'angle P C P exprime le diamêtre du champ apparent & la moitié de cet angle O C P, eſt nommée le demi-diamêtre du champ apparent. V. A. comprendra donc parfaitement ce qu'on doit entendre, lorſqu'on dit que le diamêtre du champ apparent d'un tel inſtrument eſt d'un dégré, que celui d'un autre eſt de 2 dégrés &c. ou bien en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui font un demi dégré, ou de 15 minutes, qui font un quart de dégré.

Mais pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un téleſcope, par rapport au champ apparent, il faut auſſi avoir égard au groſſiſſement de l'inſtrument, où cette maxime a généralement lieu, que plus un téleſcope ou une lunette groſſit, plus le champ apparent doit néceſſairement être petit; ce ſont des bornes que

la nature même prefcrit. Concevons un inftrument femblable qui groffit 100 fois; il eft évident que le diamètre du champ ne fauroit être que de 2 dégrés: car puifque cet efpace nous paroîtroit 100 fois plus grand, il reffembleroit à un efpace de 200 dégrés, & plus grand par conféquent que le ciel entier qui, d'un bout à l'autre, ne contient que 180 dégrés, & dont nous ne faurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus, ou bien un efpace circulaire de 90 dégrés en diamètre: par-là V. A. voit qu'un télefcope qui groffit 100 fois, ne fauroit même nous découvrir un champ d'un dégré: vu que ce dégré multiplié 100 fois feroit plus que 90 dégrés, & qu'ainfi une lunette qui groffit 100 fois, feroit excellente fi le diamètre de fon champ étoit d'un peu moins que d'un dégré: & la nature même de l'inftrument ne fouffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette foit télefcope, qui ne groffiroit que 10 fois, feroit bien défectueux s'il ne découvroit qu'un champ d'un dégré en diamètre; puifque ce champ multiplié 10 fois, ne reffembleroit qu'à un efpace de 10 dégrés dans le ciel, ce qui feroit bien peu de chofe, & borneroit trop notre vue: nous aurions bien raifon de rejetter tout-à-fait cet inftrument; il fera donc fort aifé, par rapport au champ apparent, de juger de l'excellence ou du défaut de ces fortes d'inftrumens, quand on a égard à leur effet. Ainfi, lorfqu'il ne groffit que 10 fois, on peut bien conjecturer, qu'il découvre

un champ de 9 dégrés, puisque 9 dégrés pris 10 fois font 90 dégrés, que notre vue est capable d'embrasser, & si le diamètre de son champ n'étoit que de 5 dégrés ou encore plus petit, ce seroit toujours un instrument fort défectueux. J'aurai l'honneur de prouver à V. A. que si l'on vouloit faire des lunettes de l'espèce dont j'ai donné la description, qui grossiroient plus de 10 fois, elles auroient ce défaut, leur champ apparent multiplié par le grossissement seroit fort au-dessous de 90 dégrés, & ne montreroit pas même la moitié. Mais pour de moindres effets, ce défaut n'est pas si sensible, car si une telle lunette ne grossit que 5 fois, le diamètre de son champ est environ de 4 dégrés qui grossi 5 fois, ressemble à un espace de 20 dégrés, dont on veut bien être content: mais si l'on vouloit grossir 25 fois, le diamêtre du champ ne seroit que d'un demi dégré, qui pris 25 fois, ne donneroit que 12 dégrés, ce qui seroit trop peu. C'est pourquoi, quand on veut grossir beaucoup, il faut se servir d'autres arrangemens de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la suite.

le 13 Fevrier 1762.

LETTRE CCVII.

Le jugement ſur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la conſtruction des téleſcopes & des lunettes, j'en vais faire l'application aux petites lunettes ſur leſquelles j'ai déja eu l'honneur d'entretenir V. A.

Dans *fig.* 4. *Tab. VIII.* le verre PAP eſt l'objectif, QPQ l'oculaire & la droite EF l'axe de la lunette, ſur lequel à une diſtance très-grande ſe trouve l'objet E*e*, vu par l'inſtrument ſous l'angle EA*e* qui repréſente le demi-diamêtre du champ apparent, puiſqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E eſt donc le centre de l'eſpace vu par la lunette, dont le rayon EA, puiſqu'il traverſe perpendiculairement les deux verres, ne ſouffre aucune réfraction; & ainſi pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part ſur l'axe de la lunette BF, derriére l'oculaire, enſorte que le centre de la prunelle ſe trouve dans la ligne BF, ce qui eſt une règle générale pour toutes les lunettes. Conſidérons à préſent l'extrêmité viſible de l'objet *e*, dont les rayons rempliſſent éxactement toute l'ouverture du verre objectif PAP, mais il ſuffira de n'en conſidérer que le rayon EA, qui paſſe par le milieu de l'objectif A, puiſque les autres rayons l'entourent & ne font prèſque que renforcer ce rayon, deſorte que s'il entre dans l'œil,

les autres, ou au moins une bonne partie y entrent aussi, & si ce rayon n'entre point dans l'œil, quoique peut-être quelques-uns des autres y entrent, ils sont trop foibles pour exciter dans l'œil une impression assez vive. Et ainsi nous pourrons fixer cette règle, que l'extrêmité *e* de l'objet n'est vue, qu'entant que le rayon *e*A, après avoir passé les deux verres, entre dans l'œil.

Tout bien considéré, il faut donc éxaminer avec soin la route de ce rayon *e*A. Or puisque ce rayon passe par le milieu de l'objectif A, il n'y souffre aucune réfraction; conformément à la règle établie au commencement, que les rayons qui passent par le milieu d'un verre quelconque, ne sont pas détournés de leur route, ou ne souffrent point de réfraction. Donc ce rayon *e*A après avoir passé par l'objectif, continueroit la même route pour se réunir avec les autres rayons sortis du même point *e*, au point *f* de l'image représentée par l'objectif en F*f*, le point *f* étant l'image du point *e* de l'objet: mais le rayon rencontrant en *m* le verre concave hors de son milieu, sera détourné de cette route & au lieu d'aboutir en *f* il prendra sa route en *mn* plus divergent de l'axe BF, comme c'est l'effet naturel des verres concaves de rendre les rayons toujours plus divergens. Pour connoître cette nouvelle route *mn*, que V. A. veuille bien se souvenir, que le verre objectif représente l'objet E*e* dans une situation renversée en F*f*, desorte que AF est égale à la dis-

tance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet E*e* en F*f*. Alors cette image F*f* tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire QBQ, qui, à son tour, le transporte de nouveau en G*g*, dont la distance BG doit être aussi grande que celle de l'objet même; & pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire desorte que l'intervalle BF soit égal à sa distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la premiére F*f* est déterminée par la droite *e*A*f*, tirée de *e* par le milieu A du premier verre; & l'autre G*g* par la droite *f*B*g*, tirée du point *f* par le milieu B du second verre. Cela marqué, le rayon A*m* dirigé vers le point *f* est réfracté & sort en *mn*: & cette ligne *mn* étant continuée en arriére, passe par le point *g*, puisque ce rayon *mn* produit dans l'œil le même effet que s'il venoit effectivement du point *g*. Maintenant, comme cette ligne *mn* s'éloigne de plus-en-plus de l'axe BF, où le centre de la pupille se trouve, le rayon *mn* ne sauroit entrer dans l'œil, qu'entant que l'ouverture de la pupille s'étend jusques-là; & si l'ouverture de la pupille étoit réduite en rien, le rayon *mn* seroit exclus de l'œil, & ainsi le point *e* de l'objet ne sauroit être vu de l'œil, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe AE: il n'y auroit donc point de champ apparent, & l'œil ne verroit par cette lunette que le seul point E de l'objet, qui se trouve dans son axe. Il est donc clair que cette espèce de lunette ne découvre

un champ, qu'autant que la pupille eſt ouverte, enſorte que, plus l'ouverture de la pupille eſt grande ou petite, plus auſſi le champ apparent ſera grand ou petit. Dans ce cas, le point *e* ſera donc encore viſible à l'œil, ſi le petit intervalle B*m* n'excède point la demi-largeur de la pupille, ou bien ſon demi-diamêtre, afin que le rayon *mn* puiſſe y entrer; mais auſſi dans ce cas, il faut approcher l'œil du verre oculaire autant qu'on le peut: car puiſque le rayon *mn* s'éloigne de l'axe F B, il échapperoit à la pupille, dans un plus grand éloignement.

Maintenant il eſt aiſé de déterminer le champ apparent que ces lunettes nous découvrent ſur le verre oculaire: on n'a qu'à prendre l'intervalle B*m* égal à la demi-largeur de la pupille, & tirer par ce point *m* & le milieu du verre objectif A la ligne droite *m* A *e*, alors cette ligne marquera ſur l'objet l'extrêmité *e* qui ſera encore viſible par la lunette, & l'angle E A *e* donnera le demi-diamêtre du champ apparent. Par-là V. A. jugera aiſément que, dès que la diſtance des verres A B ſurpaſſe de quelques pouces, l'angle B A *m* doit devenir très-petit, puiſque la ligne ou diſtance B *m* n'eſt qu'environ la vingtiéme partie d'un pouce. Or ſi l'on vouloit groſſir beaucoup, il faudroit que la diſtance des verres devint très-conſidérable, & il en réſulteroit que le champ apparent deviendroit infiniment petit. C'eſt donc la nature des yeux qui met des bornes à cette eſpèce de lu-

nettes, & qui nous oblige de recourir à d'autres eſpèces, dès qu'on ſouhaite des effets conſidérables.

le 16 *Fevrier* 1762.

LETTRE CCVIII.

En paſſant à la ſeconde eſpèce de lunettes, qu'on appelle lunettes aſtronomiques, & quelquefois tubes, je remarque que ces inſtrumens ne ſont compoſés que de deux verres, comme ceux de la premiére eſpèce; mais ici, au lieu de l'oculaire concave, on ſe ſert d'un convèxe. Je commencerai donc à donner à V. A. une idée de la conſtruction de ces lunettes aſtronomiques.

L'objectif PAP dans la *fig*. 9. *Tab. VIII.* eſt comme dans les autres, un verre convèxe, dont le foyer étant en F, on fixe ſur le même axe un plus petit verre convèxe QQ, deſorte que ſon foyer tombe dans le même point F. Tenant alors l'œil en O, deſorte que la diſtance BO ſoit à-peu-près égale à la diſtance de foyer de l'oculaire QQ, on verra les objets diſtinctement, & groſſis autant de fois que la diſtance de foyer de l'objectif AF ſurpaſſera celle de l'oculaire BF; mais ce qu'il y a à remarquer, c'eſt que tous les objets paroiſſent dans une ſituation renverſée, deſorte que ſi l'on dirige ces tubes vers les maiſons, on voit les toits en bas,

& le pavé en haut. Comme cette circonſtance n'eſt point agréable pour les objets terreſtres, que nous ne ſaurions voir renverſés, l'uſage de ces inſtrumens eſt borné aux objets céleſtes, qu'il nous eſt fort indiférent de voir dans un ſens ou dans un autre; il ſuffit à l'aſtronome de ſavoir que ce qu'il voit en haut ſe trouve réellement en bas, & réciproquement. Cependant, rien n'empèche qu'on ne ſe ſerve auſſi de ces lunettes pour les objets terreſtres, & on s'accoutume bientôt à voir les objets renverſés, pourvu qu'ils paroiſſent diſtinctement, & fort groſſis.

Après cette deſcription, je dois prouver trois choſes; la premiére, que par cet arrangement des verres, les objets doivent paroître diſtinctement; la ſeconde, qu'ils doivent paroître groſſis autant de fois que la diſtance de foyer de l'objectif ſurpaſſe celle de l'oculaire, & cela dans une ſituation renverſée; la troiſiéme enfin, qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la premiére eſpèce, mais qu'il l'en faut éloigner à-peu-près à la diſtance de foyer de l'oculaire.

1. Pour le premier article, la choſe ſe prouve de la même maniére que dans le premier cas: les rayons *e* P, *e* P, qui ſont paralleles entr'eux avant que d'entrer dans le verre objectif, ſe réuniſſent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F, ainſi, il faut que le verre oculaire rétabliſſe le parallèliſme entre ces rayons,

attendu que la viſion diſtincte éxige que les rayons, partis de chaque point, ſoient à-peu-près paralleles entr'eux, lorſqu'ils entrent dans l'œil. Or le verre oculaire, ayant ſon foyer en F, eſt placé deſorte qu'il rend les rayons FM, FM, par la réfraction, paralleles entr'eux; & conſéquemment l'œil recevra les rayons N *o*, N *o*, paralleles entr'eux.

2. Pour le ſecond article, conſidérons l'objet en E*e*, *Tab. VIII. fig.* 10. mais enſorte que la diſtance E A ſoit prèſqu'infinie. L'image de cet objet repréſentée par le verre objectif ſera donc F*f*, ſituée à la diſtance de foyer de ce verre A F, & déterminée par la droite *e* A *f*, tirée par le milieu du verre. Cette image F*f* qui eſt renverſée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire, & puiſqu'elle ſe trouve dans ſon foyer, la ſeconde image ſera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, & tombera par éxemple en G*g*, la diſtance A G devant être conçue comme infinie, de même que A E. Or pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer par le milieu B du verre, & l'extrêmité *f*, la droite B*fg*. Maintenant cette ſeconde image G*g* étant l'objet immédiat de la viſion de celui qui regarde dans la lunette, il eſt d'abord clair, que cette repréſentation eſt renverſée; & puiſqu'elle eſt infiniment éloignée, elle paroîtra ſous un angle GB*g*. Mais l'objet lui-même E*e* paroîtra à la vue ſimple ſous l'angle E A *e*, où V. A. comprend, ſans que je l'avertiſſe, qu'il eſt indifé-

rent de prendre les points A & B, pour avoir les angles viſuels EA*e* & GB*g*, à cauſe de l'éloignement infini de l'objet. A préſent V. A. voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles FA*f* & FB*f* peuvent être regardés comme des ſecteurs circulaires, la ligne F*f* étant l'arc de l'un & de l'autre, puiſque les angles mêmes ſont ſi petits, qu'on ne ſe trompe pas ſenſiblement en prenant la corde pour les arcs. Puis donc que les rayons de ces deux ſecteurs ſont les lignes AE & BF, les arcs étant égaux entr'eux, il s'enſuit, de ce que j'ai prouvé ci-deſſus fort amplement, que les angles FA*f* (ou bien EA*e*) & FB*f* (ou bien GB*g*) tiennent entr'eux le même rapport que les rayons BF & AF. Donc l'angle GB*g*, ſous lequel on voit l'objet par la lunette, eſt autant de fois plus grand que l'angle EA*e* ſous lequel on voit l'objet à la vue ſimple, autant de fois que la ligne AF ſurpaſſe la ligne BF; & c'eſt la démonſtration de mon ſecond article. Je ſuis obligé de remettre celle du troiſiéme à l'ordinaire prochain.

le 20 *Fevrier* 1762.

LETTRE CCIX.

POUR m'acquitter par rapport au troiſiéme article, ſur les lunettes aſtronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derriére la lunette, je

remarque que cet article eſt le plus étroitement lié avec le champ apparent, & que c'eſt préciſément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué, deſorte que ſi on l'approchoit ou l'éloignoit davantage, on ne découvriroit plus un ſi grand champ.

L'étendue du champ étant un article ſi eſſentiel & ſi important pour toutes les lunettes, il eſt également important de bien fixer l'endroit de l'œil, d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquoit l'œil immédiatement au verre oculaire, on auroit à-peu-près, le même champ qu'on a dans les lorgnettes, & qui devient d'une petiteſſe inſupportable, dès que le groſſiſſement eſt conſidérable. C'eſt donc un grand avantage pour les lunettes aſtronomiques, qu'en éloignant l'œil du verre oculaire, le champ apparent augmente juſqu'à un certain point, & c'eſt préciſément la raiſon qui rend ces lunettes ſuſceptibles de plus grands groſſiſſemens, pendant que celles de la premiére eſpèce ont été très-bornées à cet égard. V. A. a déja appris qu'avec ces lunettes, on pouſſe le groſſiſſement au-delà de 200 fois, ce qui leur donne une préférence infinie ſur celles de la premiére eſpèce, qui pourroient à peine groſſir 10 fois; & le petit inconvénient de la ſituation renverſée doit s'évanouïr tout-à-fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à V. A. cet important article auſſi clairement qu'il me ſera poſſible, & mes éclairciſſemens précédens ſur

le champ apparent, ne manqueront pas de m'être d'un très-grand ſecours.

1. L'objet E*e* *Tab. VIII. fig.* 11. étant infiniment éloigné, ſoit *e* ſon extrêmité encore viſible par la lunette, dont les verres ſont PAP & QBQ, diſpoſés ſur le commun axe EABO & il s'agit de bien conſidérer la route que tiendra le ſeul rayon qui paſſe de l'extrêmité de l'objet *e* par le milieu A du verre objectif. V. A. ſe ſouviendra encore que les autres rayons qui tombent du point *e* ſur le verre objectif, ne font qu'accompagner & renforcer le rayon propoſé *e*A, qui eſt le principal par rapport à la viſion.

2. Or ce rayon *e*A paſſant par le milieu du verre PP ne ſouffrira aucune inflèxion, mais continuera ſa route en ligne droite A*f*M, & paſſant par l'extrêmité de l'image F*f*, atteindra l'oculaire au point M, où il eſt bon d'obſerver que, ſi la grandeur du verre oculaire ne s'étendoit point juſqu'à M, ce rayon ne parviendroit jamais à l'œil, & le point *e* ſeroit inviſible. C'eſt-à-dire, il faudroit prendre l'extrèmité *e* plus proche de l'axe, pour que le rayon A*f*M rencontrat encore le verre oculaire.

3. Maintenant ce rayon AM ſera rompu, ou réfracté, par le verre oculaire, d'une maniére qu'il n'eſt pas difficile de découvrir. Nous n'avons qu'à conſidérer la ſeconde image G*g*, quoiqu'elle ſoit éloignée à l'infini, il ſuffit de ſavoir que la droite B*f* prolongée,

paſſe par l'extrêmité *g* de la ſeconde image G*g*, qui eſt l'objet immédiat de la vue. Cela remarqué, il faut que le rayon rompu prenne la route NO qui étant prolongée paſſe par le point *g*.

4. Puis donc que les deux lignes ON & B*f* concourent à l'infini en *g*, elles ſeront paralleles entr'elles, d'où nous tirons une méthode plus aiſée pour déterminer la poſition du rayon rompu NO; on n'a qu'à le tirer parallele à la ligne B*f*.

5. De-là il eſt très-évident que le rayon NO concoure quelque part avec l'axe de la lunette en O, & puiſqu'ordinairement, lorſque le groſſiſſement eſt grand, le point F eſt beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP, l'intervalle BM ſera tant ſoit peu plus grand que l'image F*f*; & puiſque la ligne NO eſt parallele à *f*B, la ligne BO ſera preſque égale à BF, c'eſt-à-dire, à la diſtance de foyer du verre oculaire.

6. Si donc l'on tient l'œil en O, il recevra non-ſeulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E, mais auſſi ceux qui viennent de l'extrêmité *e*, & par conſéquent auſſi ceux qui partent de tous les points de l'objet, l'œil recevroit même à la fois les rayons BO & NO, quand même la pupille ſeroit infiniment rétrecie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil ſoit placé en O;

mais

mais dès qu'il s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point M n'étoit pas à l'extrêmité du verre oculaire, il transmettroit des rayons encore plus éloignés de l'axe, ainsi la lunette découvriroit un plus grand champ. Donc pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir; qu'on tire du milieu A du verre objectif vers l'extrêmité du verre oculaire M, la ligne droite AM, qui continuée à l'objet y marquera en *e* l'extrêmité visible; conséquemment l'angle EA*e* ou bien BAM donne le demi-diamètre du champ apparent qui est par conséquent d'autant plus grand, que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la premiére espèce, le champ apparent dépendoit uniquement de l'ouverture de la pupille; ainsi, dans ce cas, il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire, ce qui met une diférence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la derniére. La figure que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil & le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir davantage les précédens.

Quand V. A. veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet E*e* en F*f*, & que le verre oculaire le transporte de F*f* en G*g*; cette image G*g* étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une

grande diſtance pour voir ainſi ; ce qui étoit le premier article.

Pour le ſecond article il eſt d'abord évident que, puiſqu'au lieu du vrai objet E*e* on voit par la lunette l'image G*g*, elle ſera renverſée. Enſuite cette image eſt vue de l'œil placé en O ſous l'angle GO*g*, ou BON, pendant que l'objet même E*e* paroîtra à la vue ſimple ſous l'angle EA*e* ; donc la lunette groſſit autant de fois que l'angle BON eſt plus grand que l'angle EA*e*. Or puiſque la ligne NO eſt parallele à B*f*, l'angle BON eſt égal à l'angle FB*f*, & l'angle EA*e* eſt égal à ſon oppoſé par la pointe FA*f*, d'où le groſſiſſement doit être jugé, du rapport entre les angles FB*f* & FA*f*, dont celui-là eſt autant de fois plus grand que celui-ci que la ligne AF, ou la diſtance du foyer de l'objectif, ſurpaſſe la ligne BF, ou la diſtance du foyer de l'oculaire. Ce qui eſt une preuve ſuffiſante que les élémens de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout-à-fait diférente, ce que V. A. reconnoîtra avec bien de la ſatisfaction.

le 23 Février 1762.

LETTRE CCX.

MAINTENANT V. A. connoîtra, non-seulement combien de fois grossit une lunette proposée, mais la construction des lunettes qui grossissent autant de fois qu'on veut. Dans le premier cas on n'a qu'à mesurer la distance du foyer tant du verre objectif, que de l'oculaire, pour voir combien de fois l'une surpasse l'autre, ce qui se fait par la division, & le quotient marque le grossissement.

Ayant donc une lunette dont la distance de foyer de l'objectif est de deux pieds, & celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce est contenu en deux pieds. Il faut déja savoir qu'un pied contient 12 pouces, & qu'ainsi deux pieds en font 24, qu'il faut diviser par un. Or, quelque nombre qu'on divise par un, le quotient lui est toujours égal, ou si l'on demande combien un pouce est contenu en 24 pouces, on répond sans balancer 24 fois, par conséquent la lunette en question grossit 24 fois, c'est-à-dire, nous représente les objets éloignés de la même maniére, que s'ils étoient 24 fois plus grands qu'ils ne le sont; ou bien, on les verra par la lunette sous un angle 24 fois plus grand qu'à la vue simple.

Considérons une autre lunette astronomique, dont la distance de foyer du verre ob-

jectif eſt de 32 pieds & celle de l'oculaire de 3 pouces, & V. A. verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds & 3 pouces, attendû que, dans toutes les lunettes aſtronomiques, la diſtance entre les verres eſt égale à la ſomme des deux diſtances de foyer des verres, comme il eſt clair par ma lettre précédente.

Pour trouver à préſent combien de fois cette lunette groſſit, il faut diviſer 32 pieds par 3 pouces, &, pour cet effet, convertir ces 32 pieds en pouces, en les multipliant par 12

32 pieds
12

64
32
------

ce qui donnera 384 pouces
enſuite, on diviſera ces 384 pouces par 3

3 -------- 384

128

& le quotient 128 marque que la lunette propoſée groſſit 128 fois, ce qui eſt ſans-doute un groſſiſſement très-conſidérable.

Réciproquement donc, pour conſtruire une lunette qui groſſiſſe un nombre donné de fois, par éxemple 100 fois; il faut employer deux verres convèxes, dont la diſtance de foyer de l'un ſoit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors l'un donnera l'objectif & l'autre

l'oculaire. Il faut enſuite diſpoſer ces deux verres ſur un même axe, enſorte que leur diſtance ſoit égale à la ſomme des deux diſtances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, & alors, l'œil étant derriére l'oculaire, à la diſtance de ſon foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de maniéres diférentes; en prenant un verre oculaire à volonté, & le joignant avec un objectif dont la diſtance de foyer ſoit 100 fois plus grande. Ainſi prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, & la diſtance des verres 101 pouces. Or en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir le ſien à la diſtance de 200 pouces, & celle entre les verres ſera de 202 pouces. Si l'on prenoit l'oculaire de 3 pouces de foyer, la diſtance de foyer de l'objectif devroit être de 300 pouces & celle entre les verres de 303 pouces. Et ſi l'on prenoit l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devroit avoir ſa diſtance de foyer de 400 pouces, & celle entre les verres ſeroit de 404 pouces, & ainſi de ſuite en donnant toujours plus de longueur à la lunette. Mais ſi, au contraire, on ne donnoit à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devroit avoir 100 demi-pouces, c'eſt-à-dire, 50 pouces de foyer, & la diſtance entre les verres, ne ſeroit que 50 pouces & demi; ce qui fait un peu plus de 4 pieds. Et ſi l'on prenoit

l'oculaire d'un quart de pouce, l'objectif n'auroit que 100 quarts ou 25 pouces, & la distance entre les deux verres 25 pouces & un quart, ce qui feroit un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs maniéres de produire le même grossissement de 100 fois, & si nous avions la liberté du choix, V. A. n'hésiteroit pas à donner la préférence à la derniére, comme la plus courte; où, la lunette n'étant que de 2 pieds à-peu-près, est bien plus aisée à manier qu'une beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balanceroit à préférer les lunettes les plus courtes, si toutes les circonstances étoient les mêmes, & que ces diférentes sortes représentassent les objets avec le même dégré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation n'en est pas également nette & claire; celle de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres, mais en regardant par cette lunette, les objets paroîtront non-seulement obscurs, mais mal terminés & confus, ce qui est sans-doute un très-grand défaut. L'avant derniére lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette à ces défauts, cependant l'obscurité & la confusion y sont encore insupportables : & ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs, & seront déja beaucoup moindres, lorsqu'on emploiera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer; en augmentant ces mésu-

res, la repréſentation devient encore plus nette & plus claire, deſorte, qu'à cet égard, les longues lunettes ſont préférables aux courtes, quoique d'ailleurs elles ſoient moins commodes. Cette circonſtance m'ouvre la carriére pour expliquer encore à V. A. deux articles très-eſſentiels dans la théorie des lunettes; l'un regarde la clarté ou le dégré de lumiére dont les objets ſont vus; & l'autre la netteté d'expreſſion dont ils ſont repréſentés. Sans ces deux qualités, tout groſſiſſement, quelque grand qu'il ſoit, ne nous apporte aucun avantage pour la contemplation des objets.

le 27 Février 1762.

LETTRE CCXI.

POUR juger du dégré de clarté dont les lunettes nous repréſentent les objets, je me ſervirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A., lorſque j'ai traité le même ſujet, par rapport aux microſcopes.

Il faut d'abord faire attention, qu'il ne s'agit point dans cette recherche du dégré de lumiére, qui réſide dans les objets mêmes, & qui peut être très-diférent, tant dans les diférens corps, en ce qu'ils ſont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même

corps, en diférentes circonſtances. Les mêmes corps, lorſqu'ils ſont éclairés du ſoleil, ont ſans-doute plus de lumiére que lorſque le ciel eſt ouvert, & de nuit leur lumiére eſt tout-à-fait éteinte; mais diférens corps, éclairés par la lumiére, peuvent diférer beaucoup en clarté, ſelon que leurs couleurs ſont plus ou moins vives. Il n'eſt pas queſtion de cette lumiére, ou de cette clarté qui ſe trouve dans les objets mêmes; mais, qu'elle ſoit forte ou foible, on dit qu'une lunette repréſente les objets en pleine clarté, lorſque nous les voyons par ſon moyen auſſi clairement que par la vue ſimple; deſorte que ſi l'objet eſt obſcur, on ne ſauroit prétendre que la lunette nous le repréſente avec éclat.

Ainſi, par rapport à la clarté, une lunette eſt parfaite, lorſqu'elle nous repréſente les objets avec autant de clarté que ſi nous les regardions à la vue ſimple. Ce qui arrive, comme dans les microſcopes, lorſque toute l'ouverture de la pupille eſt remplie par les rayons qui viennent de chaque point de l'objet, après avoir été tranſmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit aſſez de rayons pour remplir toute l'ouverture de la pupille, on ne ſauroit déſirer plus de clarté; & quand elle en fourniroit en plus grande abondance, cela feroit inutile, puiſqu'il n'en entreroit également pas davantage dans l'œil.

Il faut donc avoir principalement égard ici à l'ouverture de la pupille, qui étant varia-

ble, empêche de rien fixer là-dessus, si l'on ne se règle sur une certaine ouverture, qui est suffisante lorsque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, est remplie de rayons, &, pour cela, on suppose communément le diamètre de la pupille d'une ligne, dont 12 sont un pouce; on se contente souvent même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, & quelquefois moins encore.

Si V. A. considère que la lumiére du soleil surpasse 300,000 fois celle de la lune, qui pourtant est assez considérable, elle jugera bien qu'une petite diminution de clarté n'est pas de grande conséquence dans la contemplation des objets. Après cela il ne me reste qu'à éxaminer les rayons que la lunette transmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille, & considérer les rayons qui viennent d'un seul point de l'objet, *Tab.* 9. *fig.* 1. celui, par éxemple, qui se trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent sur la surface du verre objectif PAP, sont paralleles entr'eux; donc tous les rayons qui viennent du centre de l'objet seront contenus entre les lignes LP, LP paralleles à l'axe EA : tous ces rayons ensemble sont nommés le faisceau des rayons qui tombent sur le verre objectif, & l'épaisseur de ce faisceau est égale à l'étendue, ou

à l'ouverture du verre objectif, dont le diamètre est PAP.

II. Ce faisceau de rayons se change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, & après s'être croisé dans le foyer F, il forme un nouveau cône *mFm* terminé par le verre oculaire, où il est évident que la base de ce cône *mm* est autant de fois plus petite que la largeur du faisceau PP, que la distance FB est plus courte que la distance AF.

III. Maintenant ces rayons F*m*, F*m*, en passant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau paralleles entr'eux, & forment le faisceau de rayons *no*, *no*, qui entrent dans l'œil, & y dépeignent l'image du point de l'objet d'où ils sont partis originairement.

IV. Tout revient à présent à l'épaisseur de ce faisceau de rayons *no*, *no* qui entre dans l'œil, & si cette épaisseur *nn* ou *oo* est égale ou plus grande que l'ouverture de la pupille, elle en sera remplie, & l'œil jouïra de toute la clarté possible, ou bien l'objet paroîtra avec autant de clarté, que si on le regardoit sans autre secours que celui des yeux.

V. Mais si ce faisceau *nn*, ou *oo* étoit beaucoup moins épais que la pupille, il est évident que la représentation deviendroit d'autant plus obscure, ce qui seroit un grand défaut à la lunette.

Pour y remèdier, il faut donc que ce faiſceau ait la moitié d'une ligne d'épaiſſeur & il ſeroit bon qu'il fut d'une ligne entiére, puiſque c'eſt l'ouverture ordinaire de la pupille.

VI. Il eſt clair que l'épaiſſeur de ce faiſceau a un certain rapport avec celle du premier, qu'il n'eſt pas difficile de déterminer: on n'a qu'à voir combien de fois l'intervalle *nn*, ou *mm* eſt plus petit que celui PP, qui eſt l'ouverture du verre objectif. Or l'intervalle PP eſt à *mm* en même proportion que la diſtance AF à BF, d'où dépend le groſſiſſement; ainſi, le groſſiſſement même nous montre, combien de fois le faiſceau LPLP eſt plus large que celui *nono* qui entre dans l'œil.

VII. Puis donc que la largeur *nn* ou *oo* doit être une ligne ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif PP doit au moins contenir autant de demi-lignes, que le groſſiſſement indique; ainſi quand la lunette doit groſſir 100 fois, l'ouverture de ſon verre objectif doit avoir pour diamètre 100 demi-lignes, ou 50 lignes, qui ſont 4 pouces & deux lignes.

VIII. V. A. voit donc que, pour éviter l'obſcurité, il faut que l'ouverture de l'objectif ſoit d'autant plus grande, que le groſſiſſement eſt grand. Et conſéquemment, ſi le verre objectif qu'on veut employer, n'eſt pas ſuſceptible d'une telle ouverture,

la lunette ſera défectueuſe pour la clarté de la repréſentation.

Maintenant il eſt aſſez clair que, pour de grands groſſiſſemens, on ne ſauroit employer des petits objectifs, dont la diſtance de foyer ſoit trop petite, puiſqu'un verre formé par des arcs de petits cercles, ne ſauroit avoir une grande ouverture.

le 1 *Mars* 1762.

LETTRE CCXII.

V. A. vient de voir que le groſſiſſement détermine la grandeur ou l'étendue du verre objectif, afin que les objets paroiſſent avec un dégré ſuffiſant de clarté. Cette détermination ne regarde que la grandeur ou l'ouverture de l'objectif, cependant ſa diſtance de foyer s'en reſſent auſſi, deſorte que plus le verre doit être grand, plus ſa diſtance de foyer doit l'être.

La raiſon en eſt évidente, puiſque pour former un verre dont la diſtance de foyer eſt par éxemple de deux pouces, ſes deux faces doivent être des arcs de cercle dont le rayon eſt auſſi environ de deux pouces: j'ai donc repréſenté *Tab. IX. fig.* 2. deux verres P & Q, où les arcs ſont décrits avec un rayon de deux pouces. Le verre P étant plus épais,

eſt bien plus grand que celui Q, mais j'expliquerai dans la ſuite, que les verres épais ſont aſſujettis à d'autres inconvéniens, qui ſont même ſi grands, qu'il faut renoncer entiérement à leur uſage. Le verre Q ſera donc plus propre pour la pratique, puiſqu'il eſt compoſé de moindres arcs du même cercle, & comme ſa diſtance de foyer eſt de deux pouces, ſon étendue ou ouverture *mn* pourroit à peine ſurpaſſer un pouce. D'où l'on peut établir cette règle générale, que la diſtance de foyer d'un verre doit toujours être plus de deux fois plus grande que le diamètre de ſon étendue *mn*, ou que l'ouverture d'un verre doit néceſſairement être plus petite que la moitié de ſa diſtance de foyer.

Ayant donc remarqué que pour groſſir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit ſurpaſſer 4 pouces, il s'enſuit que la diſtance de foyer doit ſurpaſſer 3 pouces, & je ferai voir bientôt que le double ne ſuffit pas, & qu'il faut même augmenter la diſtance de foyer de ce verre, au-delà de 300 pouces. La netteté d'expreſſion de l'image demande cette grande augmentation, dont je parlerai dans la ſuite; je me contente de remarquer ici, qu'à l'égard de la figure géomètrique du verre, l'ouverture ne ſauroit être plus grande que la moitié de ſa diſtance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail ſur l'ouverture de l'objectif que chaque groſſiſſement éxige, & je remarque d'abord

que, quoiqu'un dégré ſuffiſant de clarté demande une ouverture de 4 pouces, lorſque la lunette doit groſſir 100 fois, on ſe contente dans les lunettes aſtronomiques d'une de 3 pouces, puiſque la diminution de clarté en devient peu ſenſible; d'où les artiſtes ont établi la règle, que pour groſſir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif ſoit de 3 pouces & pour les autres groſſiſſemens à proportion. Ainſi pour groſſir 50 fois, il ſuffit que l'ouverture de l'objectif ſoit d'un pouce & demi; pour groſſir 25 fois trois quarts de pouce ſuffiſent & ainſi des autres groſſiſſemens.

L'on voit par-là qu'une très-petite ouverture de l'objectif eſt ſuffiſante pour les petits groſſiſſemens, & que par conſéquent la diſtance de foyer peut être très-médiocre. Mais ſi l'on veut groſſir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces, ou d'un demi-pied, ce qui demande déja un très-grand verre, dont la diſtance de foyer doit ſurpaſſer même 100 pieds, pour obtenir une expreſſion nette & bien déterminée: c'eſt pourquoi les grands groſſiſſemens demandent des lunettes ſi longues, au moins ſelon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à V. A. Car depuis quelque tems, on a travaillé avec beaucoup de ſuccès à diminuer cette longueur exceſſive. Cependant l'ouverture de l'objectif doit ſuivre la règle que je viens d'établir, puiſque la clarté en dépend néceſſairement.

Si donc l'on vouloit faire une lunette qui grossit 400 fois, l'ouverture de l'objectif devroit toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre sa distance de foyer: & si l'on vouloit grossir 4000 fois, l'ouverture de l'objectif devroit être de 10 pieds, ce verre seroit donc bien grand & même trop, pour que nos artistes pussent l'éxécuter, & c'est pourquoi nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement aussi loin, à moins qu'un prince ne voulut faire les dépenses nécessaires pour former & travailler de si grands verres; encore, peut-être n'y réussiroit-on pas.

Cependant une lunette qui grossiroit 4000 fois devroit nous découvrir bien des merveilles dans le ciel: la lune nous paroîtroit 4000 fois plus grande, que nous ne la voyons à la vue simple; ou bien nous la verrions comme si elle étoit 4000 fois plus près de nous qu'elle n'est. Voyons donc jusqu'à quel dégré nous pourrions y distinguer les diférens corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52000 milles d'Allemagne, dont la 4000 partie fait 13 milles, ainsi cette lunette nous la feroit voir comme si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, & par conséquent nous pourrions y distinguer les mêmes choses, que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance; or sur une montagne, on peut bien voir d'autres montagnes qui en sont éloignées au-delà de 13 mil-

les. Il n'y a donc point de doute, que nous ne découvriſſions ſur la ſurface de la lune; quantité de choſes dont nous ſerions bien ſurpris; mais pour décider ſi la lune eſt habitée par des créatures ſemblables à celles de la terre; une diſtance de 13 milles eſt trop grande encore; il faudroit avoir pour cet effet une lunette qui groſſit encore 10 fois davantage & par conſéquent 40000 fois, dont l'objectif devroit avoir une ouverture de 100 pieds, ce que l'adreſſe des hommes n'éxécutera jamais. Mais avec une lunette ſemblable nous verrions la lune comme ſi elle n'étoit pas plus éloignée de nous que Berlin de Spandau, & de bons yeux pourroient bien y voir des hommes, s'il y en avoit, mais pourtant trop peu diſtinctement, pour s'en aſſûrer entiérement.

Comme nous devons nous contenter de ſouhaits à cet égard, le mien ſeroit plutôt d'avoir tout d'un tems une lunette qui groſſit 100000 fois; la lune ſe préſenteroit alors comme ſi elle n'étoit éloignée de nous que d'un demi-mille. L'ouverture de l'objectif de cette lunette devroit donc être de 250 pieds, & nous verrions au moins les groſſes bêtes qui peuvent être dans la lune.

le 6 Mars 1762.

LET-

LETTRE CCXIII.

La netteté de l'expreſſion eſt un article ſi important dans les qualités d'une lunette, qu'elle ſemble l'emporter ſur tous ceux dont j'ai eu déja l'honneur de rendre compte à V. A., puiſque tout le monde convient qu'une lunette, qui ne repréſente pas nettement les images des objets, eſt fort défectueuſe. J'ai donc à expliquer les raiſons de ce défaut de netteté, afin qu'on puiſſe penſer avec plus de ſuccès aux moyens d'y remédier.

Elles paroiſſent d'autant plus cachées, que les principes que j'ai établis juſqu'ici n'en découvrent point l'origine: en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me ſuis ſervi juſqu'ici, n'eſt point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

V. A. ſe ſouvient que j'ai poſé pour principe, qu'un verre convèxe raſſemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet: ſi cela étoit vrai à la rigueur, les images repréſentées par les verres ſeroient auſſi bien terminées que l'objet même, & il n'y auroit point à craindre de défaut à cet égard.

Voici donc en quoi conſiſte la défectuoſité de ce principe; les verres n'ont la propriété que je leur ai ſuppoſée, qu'autour de leur mi-

lieu; les rayons qui passent vers les bords d'un verre se rassemblent dans un autre point que ceux qui passent vers le milieu, quoique tous viennent d'un même point de l'objet, & il en naît deux images diférentes qui troublent la netteté.

Pour mettre cela dans tout son jour, considérons dans *Tab. IX. fig.* 3. le verre convèxe P P, sur l'axe duquel se trouve l'objet E *e*, dont le point E situé dans l'axe, envoye les rayons EN, EM, EA, EM, EN, sur la surface du verre. C'est sur la route de ces rayons changés par la réfraction, qu'il faut fixer notre attention.

I. Le rayon EA, qui passe par le milieu A du verre, n'en souffre aucune réfraction, il continue sa route dans la même direction sur la ligne ABF.

II. Les rayons EM & EM fort proches de celui-là, en souffrent une petite, par laquelle ils se réunissent quelque part en F avec l'axe, où est le lieu de l'image F*f*, dont j'avois parlé dans mes premiers entretiens sur cette matiére.

III. Les rayons E N & E N, qui sont plus éloignés de l'axe EA & qui passent vers les bords NN du verre, souffrent une réfraction un peu diférente, qui les réunit, non dans le point F, mais dans un autre point G plus proche du verre, & ces rayons représenteront une autre image G*g* diférente de la premiére F*f*.

IV. Remarquons bien cette circonſtance particuliére, à laquelle je n'ai pas fait attention auparavant; c'eſt que les rayons qui paſſent par le verre vers ſes bords, repréſentent une autre image *Gg*, que ceux qui paſſent par ſon milieu MAM.

V. Si les rayons EN, EN s'éloignoient encore plus du milieu A, & qu'ils paſſaſſent par les extrêmités mêmes P & P du verre, leur réunion s'approcheroit encore davantage du verre, & formeroit une nouvelle image plus proche du verre que *Gg*.

VI. V. A. jugera aiſément par-là que la premiére image *Ff* qu'on nomme la principale, n'eſt formée que par les rayons qui ſont prèſqu'infiniment proches du milieu A, & que dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il ſe forme une image particuliére plus proche du verre, juſqu'à ce que ceux qui paſſent près les bords forment la derniére *Gg*.

VII. Donc, tous les rayons qui paſſent par le verre PP, repréſentent une infinité d'images diſpoſées entre *Ff* & *Gg*, & à chaque diſtance de l'axe la réfraction du verre produit une image particuliére, deſorte que l'eſpace entre F & G eſt rempli d'une file d'images.

VIII. Auſſi cette file d'images eſt-elle nommée la diffuſion de l'image, & quand tous ces rayons entrent enſuite dans quelque œil, il eſt naturel que la viſion en ſoit d'au-

tant plus troublée, que l'eſpace F G, par lequel l'image eſt répandue eſt plus conſidérable : ſi cet eſpace F G ſe réduiſoit à rien, aucune confuſion ou défaut de netteté ne ſeroit à craindre.

IX. Plus les arcs P A P & P B P ſont de grandes parties des cercles dont ils ſont pris, plus auſſi l'eſpace de diffuſion F G eſt grand ; d'où V. A. doit comprendre pourquoi il faut rejetter tous les verres trop épais, où ces arcs, qui forment les faces du verre, ſont des parties conſidérables de cercles ; comme dans la *fig.* 4. *Tab. IX.* où les arcs P A P & P B P ſont la quatriéme partie de la circonférence entiére, deſorte que chacun contient 90 dégrés, ce qui par conſéquent produiroit une confuſion inſupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment les faces d'un verre, contiennent beaucoup moins de 90 dégrés : s'ils en contenoient 60, la diffuſion de l'image ſeroit encore inſupportable. Les auteurs, qui ont écrit ſur cette matiére, ne veulent admettre que 30 dégrés tout au plus : & il y en a qui ſe bornent à 20. On voit un verre ſemblable dans la *fig.* 5. *Tab. IX.* où les arcs P A P & P B P ne contiennent que 20 dégrés, chacun n'étant que la 18^{me} partie de la circonférence entiére d'où ils ſont pris.

XI. Mais ſi ce verre doit tenir lieu d'objectif dans une lunette, il faut que les arcs P A P & P B P contiennent encore beaucoup moins

de dégrés. Car quoique la diffusion de l'image soit insensible en elle-même, le grossissement la multiplie autant de fois que l'objet même. Ainsi, plus le grossissement est grand, plus le nombre de dégrés que les faces embrassent doit être petit.

XII. Quand la lunette doit grossir 100 fois, V. A. se souvient, que l'ouverture PP de l'objectif doit être de 3 pouces, & sa distance de foyer 360 pouces, qui est égale aux rayons dont les deux arcs PAP & PBP sont décrits; d'où il s'ensuit que chacun de ces deux arcs ne contient qu'un demi-dégré; & c'est la netteté dans l'expression qui éxige une si petite mesure; si l'on vouloit grossir 200 fois, un demi-dégré seroit encore trop, & alors la mesure des arcs ne devroit pas surpasser le tiers d'un dégré. Cependant cet arc doit recevoir une étendue de 6 pouces, ainsi le rayon du cercle doit être d'autant plus grand & par conséquent aussi la distance de foyer. C'est là, véritablement pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si considérablement longues.

le 9 Mars 1762.

LETTRE CCXIV.

LORSQUE l'eſpace de diffuſion d'un verre objectif eſt trop grand, pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en réſulte ſoit ſupportable, rien n'eſt plus aiſé que d'y rémédier; on n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton, percé d'un trou vers le centre, deſorte que le verre ne puiſſe tranſmettre d'autres rayons, que ceux qui y tombent par le trou, & que ceux qui paſſoient auparavant par les bords du verre en ſoient exclus: car puiſqu'il n'y a que les rayons qui ſoient tranſmis vers le milieu du verre, plus le trou ſera petit plus l'eſpace de diffuſion le ſera: ainſi, en diminuant le trou, on peut rendre l'eſpace de diffuſion auſſi petit qu'on veut.

Il en eſt de même alors que ſi le verre n'étoit pas plus grand que le trou, ainſi la partie couverte par le carton devient inutile, & c'eſt le trou qui détermine l'ouverture du verre: auſſi ſe ſert-on de ce remêde pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig.* 6. *Tab.* IX. PP eſt le verre objectif, devant lequel eſt placé le carton NN percé du trou MM, qui eſt l'ouverture du verre. Cette ouverture MM eſt ici à-peu-près la moitié de ce qu'elle ſeroit ſi l'on ôtoit le carton, ainſi l'eſpace de diffuſion eſt beaucoup

plus petit: on remarque que l'eſpace de diffuſion pour ce cas-ci n'eſt que le quart de celui d'auparavant, un trou MM, qui ne feroit que le tiers de PP, rendroit l'eſpace de diffuſion 9 fois plus petit: ainſi l'effet de ce remède eſt très-conſidérable, & pour peu qu'on couvre les bords du verre, l'effet en devient très-ſenſible.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paroiſſent pas aſſez nets, puiſqu'une file d'images qui ſe confondent enſemble, doit néceſſairement produire de la confuſion, on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un carton pareil, & cette confuſion s'évanouïra infailliblement. Mais on tombe dans le défaut, tout auſſi facheux, que le dégré de clarté en eſt diminué. V. A. ſe ſouvient que chaque groſſiſſement éxige une certaine ouverture de l'objectif, afin qu'il y ſoit tranſmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté ſuffiſante; il eſt donc bien facheux qu'en rémêdiant à un défaut, on s'expoſe à un autre; & il faut abſolument qu'une bonne lunette fourniſſe aſſez de clarté, ſans nuire à la netteté, dans la repréſentation des objets.

Mais n'y auroit-il pas moyen de diminuer, & de réduire même à rien, l'eſpace de diffuſion des verres objectifs, ſans en diminuer l'ouverture? Telle eſt la grande queſtion à laquelle on travaille depuis quelque tems, & dont la ſolution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'hon-

neur d'expliquer à V. A. les moyens que les ſavans ont imaginé pour y parvenir.

Comme le foyer des rayons qui paſſent par le milieu d'un verre convêxe, eſt plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui paſſent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produiſent un effet contraire; ce qui a occaſionné de rechercher s'il ne ſeroit pas poſſible de combiner un verre convêxe avec un verre concave, de façon que l'eſpace de diffuſion fut entiérement anéanti? & que d'ailleurs ce verre compoſé produiſit le même effet qu'un objectif ordinaire ſimple? V. A. ſait que les verres concaves ſont auſſi bien meſurés par leur diſtance de foyer, que les verres convêxes; avec cette diférence, que le foyer des concaves n'eſt qu'imaginaire & tombe devant le verre; pendant que le foyer des verres convêxes eſt réel & tombe derriére eux. Cela remarqué, on raiſonne de la maniére ſuivante.

I. Si l'on place *Tab. IX. fig.* 7. derriére un verre convêxe P A P un verre concave Q B Q de la même diſtance de foyer, les rayons que le verre convêxe réuniroit dans ſon foyer, ſeront refractés par le concave, deſorte qu'ils redeviennent paralleles entr'eux, comme ils l'étoient avant que de paſſer par le verre convêxe.

II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du convêxe, & il en eſt de même que ſi les rayons continuoient leur route natu-

relle, sans avoir éprouvé aucune réfraction. Car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudroient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave étoit plus petite que celle du verre convèxe, il produiroit un plus grand effet, & rendroit les rayons divergens comme dans la *fig.* 8. *Tab. IX.* les rayons incidens paralleles L M, E A, L M passant par les deux verres prennent les routes N O, B F, N O, qui sont divergentes entr'elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un verre concave simple, qui imprimeroit aux rayons incidens paralleles la même divergence. Deux verres pareils joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convèxe, sont donc équivalens à un seul verre concave.

IV. Mais si le verre concave Q Q *Tab. IX. fig.* 9. a une plus grande distance de foyer que le verre convèxe P P, il n'est pas même suffisant de rendre paralleles entr'eux les rayons que le verre convèxe seul réuniroit dans son foyer F: ces rayons demeurent donc convergens, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave, ensorte que les rayons au lieu de se réunir en F, se réuniront dans le point O plus éloigné.

V. Ces deux verres joints ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convèxe simple, qui auroit son foyer en O, puisqu'il

réuniroit les rayons paralleles LM, EA, LM également dans le même point, il eſt donc clair qu'il eſt poſſible de combiner d'une infinité de maniéres, deux verres, l'un convêxe & l'autre concave, deſorte que leur combinaiſon ſoit équivalente à un verre convêxe donné.

VI. Un tel verre objectif double, pourra donc être employé dans les lunettes, au lieu du ſimple auquel il eſt équivalent, & l'effet, par rapport au groſſiſſement, ſera tout-à-fait le même. Or l'eſpace de diffuſion ſera tout-à-fait diférent, & il peut arriver qu'il ſoit plus ou moins grand, que celui d'un objectif ſimple, & dans ce dernier cas, l'objectif double ſera bien préférable au ſimple.

VII. Mais il y a plus; on a trouvé qu'il eſt poſſible de faire des arrangemens de deux verres tels, que l'eſpace de diffuſion eſt tout-à-fait réduit à rien, ce qui eſt ſans-doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangemens, mais les artiſtes ne ſont pas encore aſſez habiles pour les éxécuter.

le 19 Mars 1762.

LETTRE CCXV.

La combinaiſon de deux verres, dont je viens de donner l'idée à V. A. eſt nommée objectif composé; le but en eſt que tous les rayons, tant ceux qui paſſent par le milieu du verre que par les bords, ſoient réunis dans un ſeul point, deſorte qu'il ne s'y forme qu'une ſeule image, ſans diffuſion, comme dans les objectifs ſimples. Si les artiſtes réuſſiſſoient à cette conſtruction, on en retireroit les plus grands avantages, comme V. A. le verra.

Il eſt d'abord évident que la repréſentation des objets doit être beaucoup plus nette & mieux terminée, puiſque la viſion n'eſt plus troublée par l'apparition de cette file d'images, qui occupent l'eſpace de diffuſion, lorſque l'objectif eſt ſimple.

Enſuite, puiſque cet eſpace de diffuſion eſt l'unique raiſon qui nous oblige de donner aux objectifs ſimples, une ſi exceſſive diſtance de foyer, pour rendre le facheux effet qui en réſulte inſenſible; en employant des objectifs composés, nous ne ſerons plus réduits à cet expédient incommode, & nous pourrons faire des lunettes incomparablement plus courtes, qui produiront le même groſſiſſement.

Lorſqu'en employant un objectif ſimple on veut groſſir 100 fois, ſa diſtance de foyer ne ſauroit être plus petite que de 30 pieds, & la

longueur de la lunette devient encore plus grande à cauſe du verre oculaire dont la diſtance de foyer doit être ajoutée ; un moindre objectif produiroit, à cauſe de ſon plus grand eſpace de diffuſion, une confuſion inſupportable. Or une longueur de 30 pieds, non-ſeulement eſt très-incommode, mais les artiſtes réuſſiſſent rarement à former des verres d'une ſi grande diſtance de foyer. V. A. en ſentira bien la raiſon, puiſque le rayon des faces de ce verre doit être auſſi de 30 pieds, & qu'il eſt très-difficile de décrire éxactement un ſi grand cercle, où la moindre aberration rend le travail inutile.

Ces accidens ne ſont pas à craindre dans la conſtruction des verres objectifs compoſés, qui peuvent être formés de plus petits cercles, pourvu qu'ils ſoient ſuſceptibles de l'ouverture que le groſſiſſement éxige. Ainſi, pour groſſir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces: or on pourra bien conſtruire un objectif compoſé, dont la diſtance de foyer ne ſeroit que de 100 pouces, & qui admettroit une ouverture de plus de 3 pouces : donc, puiſque la diſtance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle ſeroit d'un pouce ; & l'intervalle entre les verres devant être la ſomme de leurs diſtances de foyer, la longueur de la lunette ne ſeroit que 101 pouces, qui ſont 8 pieds & 5 pouces, bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il ſemble qu'un objet composé, dont le foyer ſeroit à 50 pouces, pourroit bien admettre encore une ouverture de 3 pouces & même au-delà; prenant donc l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même groſſiſſement de 100 fois, & la longueur de la lunette ſeroit réduite à la moitié, c'eſt-à-dire, à 4 pieds & près de 3 pouces. Une telle lunette produiroit donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui eſt ſûrement le plus grand avantage qu'on puiſſe ſouhaiter.

Si un tel objectif composé réuſſiſſoit, on n'auroit qu'à doubler toutes les meſures, pour en avoir un qui admit une ouverture de 6 pouces, & celui-ci pourroit être employé à groſſir 200 fois, en ſe ſervant d'un oculaire de demi-pouce de foyer, comme la deux-centiéme partie de la diſtance de foyer de l'objectif, qui ſeroit dans ce cas de 100 pouces. Or une lunette ordinaire qui groſſit 200 fois, ſurpaſſe la longueur de 100 pieds; pendant que celle qui eſt faite avec un objectif composé, ne contient qu'environ 8 pieds, & peut être employée très-commodément dans la pratique, au lieu qu'une lunette de 100 pieds eſt un fardeau prêſqu'entiérement inutile.

On pourroit pouſſer la choſe beaucoup plus loin encore, & doubler même les meſures, pour avoir un objectif composé, dont la diſtance de foyer fut de 200 pouces ou de 16 pieds & 8 pouces, qui admit une ouverture de 12 pouces ou d'un pied; prenant alors un ocu-

laire d'un demi-pouce de foyer, puiſque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces, on aura une lunette qui groſſira 400 fois, & qui ſera encore très-bien traitable, étant au-deſſous de 17 pieds, pendant que ſi l'on vouloit produire le même groſſiſſement par un verre objectif ſimple, la longueur de la lunette devroit ſurpaſſer 300 pieds, & ne ſeroit certainement d'aucun uſage, à cauſe de ſa prodigieuſe longueur.

On a à Paris une lunette de 120 pieds & à Londres une de 130, mais les terribles difficultés de les monter & de les diriger, anéantiſſent prèſque les avantages qu'on s'en étoit promis. V. A. en conclurra, combien il ſeroit important, que l'on réuſſit dans la conſtruction des objectifs compoſés dont je viens de parler. J'en avois donné les premiéres idées, il y a pluſieurs années; & depuis ce tems les plus habiles artiſtes en Angleterre & en France travaillent à les éxécuter; la choſe demande bien des eſſais & une grande adreſſe de la part de l'ouvrier; & quoique j'aye fait faire par le machiniſte de notre académie quelques heureux eſſais, les dépenſes d'une telle entrepriſe m'ont obligé d'y renoncer.

Mais la ſociété des ſciences à Londres a annoncé l'année paſſée qu'un très-habile artiſte, nommé Dollond, en étoit venu heureuſement à bout; & maintenant on admire par-tout ſes lunettes. Un autre habile artiſte de Paris, nommé Paſſement, ſe vante d'un ſuccès pareil,

l'un & l'autre me faiſoit l'honneur, autrefois, d'entretenir une correſpondance avec moi ſur cette matiére; mais comme il s'agiſſoit principalement de ſurmonter de grands obſtacles dans la pratique, ce dont je ne m'étois jamais mêlé, il eſt bien juſte que je leur abandonne la gloire de la découverte: ce n'eſt que la partie théorétique qui m'appartient, & qui m'a couté des recherches bien profondes & des calculs très-peinibles, dont la vue ſeule éfrayeroit V. A.; ainſi je me garderai bien de l'entretenir ſur cette matiére épineuſe.

le 16 Mars 1762.

LETTRE CCXVI.

POUR donner à V. A. quelqu'idée des recherches qui m'ont conduit à la conſtruction des objectifs composés, je dois commencer par la formation des verres ſimples.

Remarquons d'abord que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de maniéres diférentes, en prenant les cercles, dont les faces ſont des parties, ou égaux ou inégaux entr'eux, deſorte pourtant que la diſtance de foyer demeure toujours la même.

On donne ordinairement aux deux faces d'un verre la même figure, ou comme on repréſente les faces des verres par des arcs de cercles,

on fait les deux faces des rayons égaux entr'eux. La commodité dans l'éxécution a ſans-doute recommandé cette figure, puiſqu'on peut ſe ſervir du même baſſin pour former l'une & l'autre face, & que la plûpart des ouvriers n'eſt pourvue que d'un petit nombre de baſſins.

Suppoſons donc un verre convèxe, dont les deux faces ſoient travaillées ſur un même baſſin de 24 pouces de rayon, deſorte que chaque face ſoit un arc de cercle dont le rayon ſoit de 24 pouces, ce verre ſera convèxe des deux côtés, & il aura ſon foyer à la diſtance de 24 pouces, comme on l'eſtime communément; mais comme le foyer dépend de la réfraction, & que la réfraction n'eſt abſolument pas la même dans toutes les eſpèces de verres, où ſe trouve une diverſité aſſez conſidérable ſelon que le verre eſt plus ou moins blanc & dur; cette eſtime du foyer n'eſt pas juſte à la rigueur, & ordinairement la diſtance du foyer du verre eſt un peu moindre que le rayon de ſes deux faces, tantôt de la dixiéme partie, tantôt de la douziéme; ainſi le verre que je viens de ſuppoſer, & dont les rayons de chaque face ſont de 24 pouces, aura ſon foyer à une diſtance d'environ 22 pouces, s'il eſt travaillé de la même ſorte de verre dont on fait communément les miroirs: quoiqu'on rencontre auſſi dans cette eſpèce de verres une petite diverſité par rapport à la réfraction.

Nous voyons enſuite qu'en faiſant les deux faces du verre inégales, on peut former une infinité

infinité d'autres verres, qui ont tous la même diſtance de foyer : car, en prenant le rayon d'une face plus petit que 24 pouces, on prendra celui de l'autre face d'autant plus grand, ſelon une certaine proportion ; on peut toujours prendre le rayon d'une face à volonté, & trouver par le moyen d'une certaine règle le rayon de l'autre, afin que la diſtance de foyer devienne la même que ſi chaque face avoit 24 pouces de rayon. La table ſuivante offre pluſieurs verres pareils, qui ont tous la même diſtance de foyer.

Verres	Rayons de la Iere face.	Rayons de la IIde face.
I.	24	24
II.	21	28
III.	20	30
IV.	18	36
V.	16	48
VI.	15	60
VII.	14	84
VIII.	13	156
IX.	12	infini

Dans la derniére forme le rayon d'une face n'eſt que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces, mais

celui de l'autre devient infini, ou plutôt, cette face eſt un arc de cercle infiniment grand; & comme un tel arc ne difère plus d'une ligne droite, cette face ſera plane, & ce verre plano-convêxe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, & le verre deviendra convêxo-concave; il portera alors le nom de meniſque dont voici pluſieurs figures.

Meniſque	Rayon de la face convêxe.	Rayon de la face concave.
X.	11	132
XI.	10	60
XII.	9	36
XIII.	8	24
XIV.	6	12
XV.	4	6
XVI.	3	4.

Voilà donc encore une nouvelle eſpèce de verres, dont la derniére eſt repréſentée dans la *fig.* 11. *Tab. IX.* deſorte que nous en avons ici 16 eſpèces diférentes, qui ont toutes leurs foyers à la même diſtance, qui ſera environ de 22 pouces, un peu plus ou moins, ſelon la nature du verre.

Quand donc il n'eſt queſtion que de la diſtance de foyer que le verre doit avoir, il eſt indiférent ſelon quelle de ces formes on veuille le travailler: mais il s'y trouve une très-grande diférence dans l'eſpace de diffuſion, auquel chaque eſpèce eſt aſſujettie, cet eſpace devenant plus petit dans les unes que dans les autres. Quand on veut employer un verre objectif ſimple, comme à l'ordinaire, il n'eſt plus indiférent de quelle eſpèce on tire ſa figure, & celle qui produit le plus petit eſpace de diffuſion eſt à préférer. Or cette belle propriété ne convient pas à la premiére eſpèce, où les deux faces ſont égales, mais à-peu-près à la VII. eſpèce, qui eſt douée de la prérogative, que lorſqu'on tourne vers l'objet ſa face la plus convêxe, ou celle dont le rayon eſt plus petit, l'eſpace de diffuſion ſe trouve environ de la moitié plus petit que ſi le verre étoit également convêxe des deux côtés; c'eſt donc la figure la plus avantageuſe aux verres objectifs ſimples, auſſi les praticiens ſont-ils d'accord là-deſſus.

Il eſt donc clair que pour juger de l'eſpace de diffuſion d'un verre, il ne ſuffit pas d'en connoître la diſtance de foyer; il faut ſavoir ſon eſpèce, c'eſt-à-dire, les rayons de chaque face, & bien diſtinguer laquelle eſt tournée vers l'objet.

Remarquez, après cette explication, que pour chercher la combinaiſon de deux verres qui ne produiſent aucune diffuſion d'image, il faut abſolument tenir compte de la figure des deux

faces de chaque verre, & qu'on a ce problême à résoudre, *quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'espace de diffusion soit réduit à rien?* La solution demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie; & après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter; il faut qu'il donne aux bassins la même courbure précisément que le calcul a enseigné, & cela n'est pas suffisant encore, car pendant qu'on travaille le verre sur le bassin pour qu'il en prenne la figure, le bassin même en souffre à son tour; on est donc obligé de rectifier sa figure de tems-en-tems, avec la plus grande justesse, car dès qu'on manque à toutes ces précautions, on ne sauroit se promettre un heureux succès; aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu diférente de celle du bassin; d'où V. A. jugera combien il doit être difficile de porter à la perfection cet important article de la dioptrique.

le 20 Mars 1762.

LETTRE CCXVII.

V. A. vient de voir de quelle maniére on doit remèdier à l'inconvénient des rayons qui, passant par les bords d'un verre, ne se réunissent pas dans le même point où sont réunis ceux

qui paſſent par ſon milieu, tellement qu'il en naît une infinité d'images diſperſées par l'eſpace de diffuſion. Mais cet inconvénient n'eſt pas ſeul, il en eſt encore un autre, d'autant plus important, qu'il ſemble impoſſible d'y remèdier, parceque la cauſe ne ſe trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons mèmes.

V. A. ſe ſouvient qu'il règne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverſes couleurs dont ils nous impriment le ſentiment; j'ai comparé cette diverſité avec celle qu'on trouve dans les tons, ayant établi pour principe, que chaque couleur eſt attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand cette explication paroîtroit encore douteuſe, il reſte très-ſûr que les rayons des diverſes couleurs ſouffrent auſſi des réfractions diférentes, en paſſant d'un milieu tranſparent dans un autre; ainſi les rayons rouges ſouffrent la plus petite réfraction, & les violets la plus grande, quoique la diférence ſoit prèſque imperceptible. Or toutes les autres couleurs comme l'orange, le jaune, le verd, & le bleu, ſont contenues, à l'égard de la réfraction, entre ces deux limites. Il faut auſſi remarquer que le blanc eſt un mèlange de toutes ces couleurs, qui, par la réfraction, ſe ſéparent les unes des autres.

En effet quand, *Tab. IX. fig.* 12. on fait tomber obliquement un rayon blanc O P, ou un rayon du ſoleil, ſur un morceau de verre

ABCD, au lieu de continuer ſa route ſuivant ſa direction PQ, non-ſeulement il en eſt détourné, mais il ſe partage encore en pluſieurs rayons P*r*, P*s*, P*t*, P*v*, dont le premier P*r*, qui eſt le moins détourné, repréſente la couleur rouge, & le dernier P*v*, qui eſt le plus détourné, la couleur violette; la diſperſion *rv* eſt bien plus petite que ne le repréſente la figure, cependant leur divergence devient toujours plus ſenſible.

De cette diférente réfrangibilité des rayons, ſelon leurs diverſes couleurs, naiſſent les phénomênes ſuivans, par rapport aux verres dioptriques.

I. Soit PP *Tab. IX. fig.* 13. un verre convèxe, ſur l'axe OR duquel ſe trouve, dans un très-grand éloignement AO, l'objet O*o*, dont il s'agit de déterminer l'image repréſentée par le verre, en faiſant ici abſtraction de la premiére irrégularité qui regarde la diffuſion, ou, ce qui revient au même, en ne conſidérant ici que les rayons qui paſſent par le milieu du verre AB, comme ſi ſes bords étoient couverts d'un carton.

II. Suppoſons maintenant que l'objet O*o* ſoit rouge, deſorte que tous ſes rayons ſoient de la même nature, le verre en repréſentera quelque part l'image R*r* également rouge: on nomme alors le point R, le foyer des rayons rouges, ou de ceux qui ſouffrent la moindre réfraction.

III. Mais ſi l'objet O*o* eſt violet, puiſque les rayons de cette couleur ſouffrent la plus grande réfraction, l'image V *v* ſera plus proche du verre, que la précédente R *r*; ce point V eſt nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet étoit teint de quelqu'autre couleur, mitoyenne entre la rouge & la violette, l'image tomberoit entre les lieux R & V, ſeroit toujours bien nette, & terminée par la droite *o*B tirée de l'extrèmité de l'objet *o* par le milieu du verre, cette règle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais ſi la couleur de l'objet n'eſt pas pure, comme il arrive dans prèſque tous les corps; ou que l'objet O*o* fut blanc, ce qui eſt un mèlange de toutes les couleurs, les diverſes eſpèces de rayons ſont alors ſéparées par la réfraction, & chacune repréſentera une image à part. Celle qui eſt formée par les rayons rouges, ſe trouvera en R *r*; & celle qui l'eſt par les rayons violets, en V *v*; & tout l'eſpace R V ſera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. Le verre P P repréſentera donc une infinité d'images de chaque objet O *o*, diſpoſées par le petit eſpace R V, dont la plus éloignée du verre R *r* eſt rouge & la plus proche V *v* violette, & les moyennes, des couleurs moyennes; ſelon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII. Chacune de ces images ſera bien nette

en elle-même, & toutes, terminées par la ligne droite *oBvr*, tirée de l'extrêmité de l'objet *o* par le milieu du verre B: mais elles ne sauroient être vues ensemble sans une confusion assez sensible.

VIII. Il en nait donc un espace de diffusion comme dans la premiére irrégularité, mais qui en difère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, & que chaque image est teinte d'une couleur particuliére.

IX. Cet espace de diffusion RV, dépend de la distance de foyer du verre, desorte qu'il en est toujours environ la vingt-huitiéme partie; quand donc la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace RV devient égal à un pied entier, ou bien, la distance entre l'image rouge R*r* & la violette V*v*, est d'un pied. Si la distance de foyer étoit deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace RV seroit de 2 pieds & ainsi des autres.

X. De-là l'estime de la distance de foyer d'un verre devient incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part: & quand on parle du foyer d'un verre, il faudroit toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais on l'entend communément des rayons d'une nature moyenne entre le rouge & le violet, & qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi quand on dit sans s'expliquer da-

vantage, que la diſtance de foyer de tel verre eſt de 56 pieds, il faut entendre que c'eſt l'image verte qui tombe à cette diſtance ; l'image rouge tombera environ d'un pied plus loin & la violette d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonſtance bien eſſentielle, à laquelle il faut avoir égard dans les inſtrumens dioptriques.

le 23 *Mars* 1762.

LETTRE CCXVIII.

IL faut bien diſtinguer cette nouvelle diffuſion, ou multiplication de l'image, qui vient de la diverſe réfrangibilité des rayons, en ce qu'ils ſont de diférentes couleurs, de la précédente qui provenoit de l'ouverture du verre, & de ce que les rayons qui paſſent près des bords, forment une autre image que ceux qui paſſent par ſon milieu. Auſſi faut-il remèdier à ce nouvel inconvénient diféremment qu'au premier.

V. A. voudra bien ſe ſouvenir que j'ai propoſé deux moyens pour remèdier à l'inconvénient précédent ; l'un conſiſtoit dans l'aggrandiſſement de la diſtance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre ; ce remède nous conduiſoit à des lunettes extrê-

mementlongues, lorſqu'on ſouhaitoit un grand groſſiſſement. L'autre requéroit la combinaiſon de deux verres, l'un convêxe & l'autre concave, pour tempérer la réfraction, de façon que tous les rayons tranſmis par ces verres ſe réuniſſent dans le même point, & que l'eſpace de diffuſion fût reduit à rien.

Mais ni l'un ni l'autre de ces remèdes n'apporte du ſecours à l'inconvénient cauſé par la diférente réfrangibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puiſque, plus on augmente la diſtance de foyer du verre, plus l'eſpace par lequel les images colorées ſont diſperſées devient conſidérable: la combinaiſon de deux, ou pluſieurs verres, n'eſt encore d'aucun ſecours, & on a trouvé par l'expérience & la théorie, que les images de diférentes couleurs demeurent toujours ſéparées, quelque grand que ſoit le nombre des verres par leſquels on fait paſſer les rayons, & que, plus la lunette doit groſſir, & plus la diférence augmente.

Cette circonſtance éfraya tellement le grand Newton, qu'il a déſeſpéré de remèdier à ce défaut, qu'il croyoit abſolument inſéparable des inſtrumens dioptriques, où la viſion ſe fait par des rayons réfractés. C'eſt pourquoi il prit le parti de renoncer entiérement à la réfraction, & d'employer des miroirs au lieu de verres objectifs, puiſque la réflèxion eſt toujours la même pour tous les rayons; c'eſt cette idée qui nous a procuré ces excellens té-

lescopes à réflèxion, dont on admire les effets surprenans, & dont je parlerai une autre fois, quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instrumens à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il étoit impossible de remèdier à la diverse réfrangibilité des rayons, par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres; & je me suis apperçu, que si l'on pouvoit employer d'autres matiéres transparentes, dont la réfraction fut considérablement diférente de celle du verre, il seroit bien possible de la combiner avec le verre, desorte que tous les rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eut d'éspace de diffusion. Ayant poursuivi cette idée, j'ai trouvé moyen de composer des objectifs de verre & d'eau tout-à-fait éxemts de l'effet de la diverse réfrangibilité des rayons, qui, par conséquent, devroient produire un effet aussi bon que les miroirs.

J'ai éxécuté cette idée par deux ménisques, ou verres concavo-convèxes *Tab. IX. fig.* 14. dont l'un est AACC & l'autre BBCC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vuide qui restoit entr'elles, desorte que les rayons qui sont entrés par le verre AACC doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres, avant de sortir par CCBB. Chaque rayon souffre donc quatre ré-

fractions, la premiére en entrant de l'air dans le verre AACC, la seconde en passant de ce verre dans l'eau, la troisiéme en passant de l'autre verre CCBB, la quatriéme en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres entrent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diamètres, ensorte que, de quelle couleur que soit un rayon de lumiére, après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunisse dans le même point, & que la diverse réfrangibilité ne produise plus de diverses images.

Ces objectifs composés de deux verres & d'eau, tomboient d'abord trop dans le premier inconvénient, où les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu, mais après des recherches bien peinibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces, de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout-à-la-fois des inconvéniens de l'une & de l'autre classe. Mais il falloit éxécuter si éxactement pour cela toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisoit échouer tous les avantages qu'on en attendoit, desorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs.

D'ailleurs ce projet ne remédieroit qu'aux inconvéniens qui sont à craindre de la part du verre objectif, & le verre oculaire ne manqueroit pas de produire aussi un effet fâ-

cheux, auquel il eſt impoſſible de remêdier de la même maniére. On ſe ſert ſouvent de pluſieurs oculaires, pour conſtruire des lunettes, comme je l'expliquerai dans la ſuite, ainſi qu'on ne gagneroit pas grand-choſe ſi l'on s'arrêtoit trop ſcrupuleuſement à un ſeul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet ſoit peu ſenſible rélativement à celui de l'objectif.

Mais quelques peines que m'ayent couté ces recherches, je dois avouer franchement, que je renonce entiérement à préſent à la conſtruction des objectifs compoſés de verres & d'eau; tant à cauſe de leur éxécution trop difficile, que parceque j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverſe réfrangibilité des rayons, mais de le rendre inſenſible. J'aurai l'honneur d'entretenir V. A. là-deſſus l'ordinaire prochain.

le 27 Mars 1762.

LETTRE CCXIX.

LORSQUE les téleſcopes à réflèxion ſont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction, qu'on devoit croire qu'elles n'auroient plus d'autre ſort que d'être rejettées entiérement. Auſſi a-t-on dèslors négligé tout-à-fait leur conſtruction, dans

la ferme perſuaſion que tous les ſoins qu'on ſe donneroit pour les perfectionner, ſeroient inutiles, puiſque le grand Newton avoit démontré, que les effets fâcheux de la diverſe réfrangibilité des rayons, étoient abſolument inſéparables de la conſtruction des lunettes.

Suivant ce ſentiment, aucunes lunettes ne ſauroient nous repréſenter les objets qu'avec une confuſion d'autant plus inſupportable, que le groſſiſſement ſeroit plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuſes à cet égard, on en trouve auſſi quelquefois de très-bonnes, qui ne cèdent en rien aux téleſcopes à réflèxion tant vantés. C'eſt ſans-doute un très-grand paradoxe ; car ſi ce défaut étoit bien fondé, on ne devroit en trouver aucune qui en fût éxemte : par conſéquent cette exception dont l'expérience nous aſſûre, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'aprofondir, pourquoi quelques lunettes repréſentent aſſez nettement les objets, & que d'autres ne ſont que trop aſſujetties au défaut cauſé par la diférente réfrangibilité des rayons. Je crois en avoir découvert la raiſon & je vais la propoſer à V. A. par les réflèxions ſuivantes.

I. Il eſt très-certain que le verre objectif repréſente une infinité d'images de chaque objet, qui ſe trouvent toutes rangées ſur l'eſpace de diffuſion, & dont chacune

eſt teinte de ſa propre couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire, qui repréſente chacune ſéparément avec la couleur qui lui eſt propre, deſorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images diſpoſées dans un certain ordre, ſelon la réfraction des verres.

III. Et ſi, au lieu d'un verre oculaire, on en employe pluſieurs, il arrivera toujours la même choſe, & au lieu d'une image, la lunette en repréſentera une infinité à l'œil, ou bien une file d'images, dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particuliére.

IV. Conſidérons donc *Tab. IX. fig.* 15. les derniéres images que la lunette offre à l'œil placé en O; & ſoit R*r* l'image rouge, & V*v* la violette, celles des autres couleurs ſe trouvant entre ces deux ſelon l'ordre de leur diférente réfrangibilité. Je n'ai pas indiqué dans cette figure les verres de la lunette, puiſqu'il s'agit uniquement de quelle maniére l'œil voit les images. Il faut ſeulement enviſager la diſtance de l'œil O juſques à elles comme très-grande.

V. Toutes ces images R*r* & V*v* avec les moyennes, ſont donc ſituées ſur l'axe de la lunette ORV, & terminées par une certaine ligne droite *rv*, qui eſt nommée la terminatrice de toutes les images.

VI. Comme j'ai repréſenté ces images dans la figure, l'image rouge Rr eſt vue par l'œil en O ſous l'angle ROr, qui eſt plus grand que l'angle VOv, ſous lequel eſt vue l'image violette Vv. Les rayons violets qui entrent de l'image Vv, dans l'œil, ſe mêlent donc avec les rouges qui viennent de la partie Rr de l'image rouge Rr.

VII. Par conſéquent, l'œil ne ſauroit voir l'image violette ſans un mêlange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à diférens points de l'objet même, ainſi le point n de l'image rouge eſt confondu dans l'œil avec l'extrêmité v de l'image violette, d'où doit naître une grande confuſion.

VIII. Or le rayon rO n'étant point mêlé par d'autres, l'extrêmité vue paroîtra rouge, ou bien l'image ſemblera bordée de rouge qui ſe mêle enſuite avec les autres couleurs ſucceſſivement; deſorte que l'objet paroîtra bordé des couleurs d'iris, ce qui eſt un défaut très commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes ſont moins ſujettes que d'autres.

IX. Si la plus grande image Rr étoit la violette & Vv la rouge, la confuſion ſeroit également inſupportable, avec cette ſeule diférence que les extrêmités de l'objet paroîtroient alors bordées de violet au lieu de rouge.

X. La confuſion dépend donc de la poſition de la droite terminatrice $r\,v$ par rapport à la

la ligne V O, & la diverſité qui peut y avoir lieu; il en réſultera que la confuſion ſera tantôt plus grande, tantôt plus petite.

XI. Conſidérons maintenant le cas, où les derniéres images repréſentées par la lunette ſont tellement arrangées que la droite terminatrice *v r* étant prolongée, paſſe préciſément dans l'œil. Alors l'œil verra *Tab. IX. fig.* 16. par un ſeul rayon *v r* O toutes les extrêmités des images; & en général, tous les points qui répondent à un même point de l'objet, ſeront portés dans l'œil par un ſeul rayon; & par conſéquent ils y ſeront repréſentés diſtinctement.

XII. Voilà donc le cas, où il peut arriver que, non-obſtant la diverſité des images, l'œil voie l'objet diſtinctement, ſans que diverſes parties en ſoient confondues enſemble, comme il eſt arrivé dans le précédent. Cet avantage a donc lieu, lorſque la ligne terminatrice *v r* étant prolongée, paſſe par le lieu de l'œil O.

XIII. Comme l'arrangement des derniéres images R*r* & V*v* dépend de la diſpoſition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche, il ne s'agit que d'arranger ces verres, enſorte que la ligne terminatrice des derniéres images *v r* paſſe par l'œil; & les lunettes auxquelles cela arrive, ſeront toujours excellentes.

le 30 *Mars* 1762.

LETTRE CCXX.

En rassemblant ce que j'ai expliqué jusqu'ici, V. A. conviendra aisément, que c'est une chose bien rare & très-précieuse qu'une lunette excellente à tous égards, & qui ne soit assujettie à aucun défaut; puisqu'il faut avoir égard à tant de circonstances, dont chacune influe très-essentiellement sur la construction des bonnes; comme le nombre des bonnes qualités est considérable, afin qu'aucune n'échape à notre attention, il sera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de V. A.

I. La premiére qualité regarde le grossissement, & plus une lunette grossit les objets, plus elle est sans-doute parfaite, pourvû qu'aucune des autres bonnes qualités n'y manque. Or le grossissement se juge par le nombre de fois que le diamêtre des objets paroît plus grand qu'à la vue simple: V. A. se souviendra que cela arrive autant de fois dans les lunettes à deux verres, que la distance de foyer du verre objectif surpasse celle de l'oculaire. Dans les lunettes à plusieurs verres ce jugement est plus embarrassé.

II. La seconde qualité d'une bonne lunette est la clarté. Elle est toujours fort défectueuse, lorsqu'elle représente les objets obscurément,

& comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mésure se règle sur le grossissement. Les artistes ont déterminé que, pour grossir 300 fois, le diamètre de l'ouverture de l'objectif doit être de trois pouces & pour tout autre grossissement à proportion. Or lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif une plus grande ouverture encore.

III. La troisiéme qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Il faut pour cela que les rayons qui passent par les bords de l'objectif, se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que sa distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; desorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres, & si les artistes réussissoient dans leur construction, on seroit en état de racourcir les lunettes très-considérablement pour le même

groſſiſſement. V. A. voudra bien ſe ſouvenir à cet égard de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long ſur ce ſujet.

IV. La quatriéme qualité regarde auſſi la netteté ou la pureté de la répréſentation, en-tant qu'elle eſt troublée par la diverſe réfrangibilité des rayons de diférentes couleurs. J'ai fait voir de quelle maniére il eſt poſſible de rémédier à cet inconvénient; & comme il eſt impoſſible que les images formées par les diférens rayons ſoient réunies dans une ſeule, il s'agit d'arranger les verres de la maniére que j'ai expliquée dans ma lettre précédente, c'eſt-à-dire, que la ligne terminatrice des derniéres images, paſſe par l'œil. Sans quoi la lunette aura le défaut de repréſenter les objets environnés des couleurs d'iris, & ce défaut s'évanouït quand on arrange les verres de la maniére démontrée. Or il faut pour cet effet employer plus de deux verres, afin de pouvoir les arranger comme il faut. Je n'ai parlé juſqu'ici que des lunettes compoſées de deux verres, dont l'un eſt l'objectif & l'autre l'oculaire, & V. A. ſait que leur éloignement eſt déja déterminé par les diſtances des foyers, deſorte qu'on n'eſt plus maître d'y rien changer. Cependant il arrive, heureuſement, que la ligne terminatrice, dont j'ai parlé, paſſe à-peu-près par le lieu de l'œil, deſorte que le défaut des couleurs d'iris eſt prèſque inſenſible,

pourvu qu'on ait rémèdié au défaut précédent, ſur-tout quand le groſſiſſement n'eſt pas très-grand. Mais, dans les groſſiſſemens conſidérables, il eſt bon d'employer deux verres oculaires, pour anéantir entiérement les couleurs d'iris; puiſque, dans ce cas, les moindres défauts étant également groſſis, deviennent inſupportables.

V. La cinquiéme & derniére bonne qualité des lunettes, eſt un grand champ apparent, ſoit l'eſpace que la lunette nous découvre à la fois. V. A. ſe ſouvient que les petites lorgnettes de poche, à un oculaire concave, ont le défaut d'un champ trop petit, qui les rend incapables de groſſir beaucoup. L'autre eſpèce à oculaire convèxe, eſt moins ſujette à ce défaut, mais comme elle repréſente les objets renverſés, les lunettes de la premiére eſpèce ſeroient bien préférables, ſi elles nous découvroient un plus grand champ, qui dépend de l'ouverture du verre oculaire; & V. A. comprend aſſez qu'on ne ſauroit augmenter cette ouverture à volonté, puiſqu'elle eſt déterminée par ſa diſtance de foyer. Or en employant deux ou trois ou même pluſieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand; & c'eſt une nouvelle raiſon d'employer pluſieurs verres, pour conſtruire des lunettes qui ſoient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités, on pourroit encore

ajouter celle-ci, que la repréſentation ne ſoit pas renverſée, comme dans les lunettes aſtronomiques: mais il eſt aiſé de rémèdier à ce défaut, ſi c'en eſt un, en ajoutant encore deux verres oculaires comme je l'expoſerai dans ma premiére lettre.

le 3 Avril 1762.

LETTRE CCXXI.

JE me ſuis arrêté bien long-tems aux lunettes compoſées de deux verres convèxes, qui ſont connues ſous le nom de tubes aſtronomiques, parcequ'on s'en ſert communément pour obſerver les étoiles.

V. A. comprendra aiſément que l'uſage de ces inſtrumens, quelqu'excellens qu'ils ſoient, ſe borne uniquement au ciel, parcequ'ils repréſentent les objets dans une ſituation renverſée, ce qui devient fort déſagréable lorſqu'on veut contempler des objets terreſtres, que nous voudrions voir dans leur ſituation naturelle; mais après la découverte de cette eſpèce de lunettes, on a bien vîte trouvé moyen d'y rémèdier, en doublant, pour ainſi dire, la même lunette. Car puiſque deux verres renverſent les objets, ou repréſentent leurs images renverſées, en joignant une lunette pareille à celle-ci pour regarder les mêmes images, elles ſeront renverſées encore une fois, & cette ſeconde repréſen-

tation nous offrira les objets debout. De-là naît une nouvelle espèce de lunettes, composées de quatre verres, qu'on nomme lunettes terrestres, puisqu'elles sont destinées à contempler les objets terrestres. Voici leur construction, *Tab. IX. fig.* 10.

I. Les quatre verres A, B, C, D, enchassés dans le tuyau MMNN représentent la lunette en question, dont le premier A dirigé vers les objets est nommé l'objectif, & les trois autres B, C, D, les oculaires. Ces quatre verres sont convèxes, & l'œil doit être placé au bout du tuyau à une certaine distance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la suite.

II. Considérons les effets que chaque verre doit produire, quand l'objet O*o*, qu'on regarde par la lunette, se trouve à une distance fort grande; le verre objectif représentera d'abord l'image de cet objet en P*p* à la distance de son foyer, dont la grandeur est déterminée par la ligne droite tirée de l'extrêmité *o*, par le milieu du verre A; cette ligne n'est pas exprimée dans la figure, pour ne pas trop la charger de lignes.

III. Cette image P*p* tient lieu de l'objet par rapport au second verre B, qu'on place de maniére que l'intervalle BP soit égal à sa distance de foyer; afin que la seconde image en soit transportée à l'infini comme en Q*q*, qui sera renversée comme la premiére

Pp, & terminée par la ligne droite tirée du milieu du verre B, par l'extrêmité p.

IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres AB, eſt donc égal à la ſomme de leurs diſtances de foyer; & ſi l'on tenoit l'œil derriére le verre B on auroit une lunette aſtronomique par laquelle on verroit l'objet Oo en Qq, & conſéquemment renverſé & groſſi autant de fois, que la diſtance AP ſurpaſſe la diſtance BP. Mais au lieu de l'œil, on place derriére le verre B, à quelque diſtance, le troiſiéme verre C, par rapport auquel l'image Qq tient lieu de l'objet, puiſqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Qq, qui ſe trouvant à une très-grande diſtance, le verre C en repréſentera l'image à ſa diſtance de foyer en Rr.

V. L'image Qq étant à rebours, celle Rr ſera debout, & terminée par la ligne droite qu'on tireroit de l'extrêmité q par le milieu du verre C, qui paſſeroit par le point r. Par conſéquent les trois verres A, B, C enſemble, repréſentent l'objet Oo en Rr, & cette image Rr eſt debout.

VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle DR ſoit égal à ſa diſtance de foyer; ce verre éloignera encore l'image Rr à l'infini, comme en Ss, dont l'extrêmité s ſera déterminée par la ligne droite qu'on tireroit du milieu du verre D, par l'extrêmité r, & l'œil placé derriére ce ver-

re, verra effectivement l'image S *s* au lieu du véritable objet O *o*.

VII. De-là il est aisé de juger combien de fois cette lunette composée de quatre verres, doit grossir les objets; on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres, AB & CD, dont chacune, séparément, seroit une lunette astronomique. La premiére paire de verres A & B grossit autant de fois, que la distance de foyer du premier verre A surpasse celle du second verre B; & c'est autant de fois que l'image, qui en est formée, Q *q*, est plus grande que le véritable objet O *o*.

VIII. Ensuite cette image Q *q* tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C & D, elle sera encore multipliée autant de fois, que la distance du verre C surpasse celle du verre D. Ces deux grossissemens joints ensemble, fournissent le vrai grossissement que les quatre verres produisent.

IX. Si donc la premiére paire de verres A & B grossissoit 10 fois; & l'autre paire de verres C & D trois fois; la lunette grossiroit 3 fois 10 fois, c'est-à-dire, trente fois les objets; & l'ouverture du verre objectif A, doit répondre à ce grossissement, selon la règle que j'ai établie ci-dessus.

X. V. A. voit donc, que si l'on ôte d'une lunette terrestre les deux derniers verres C & D, on aura une lunette astronomique, & que les deux verres C & D en feront une

aussi, desorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques; & réciproquement, deux lunettes astronomiques jointes ensemble en produisent une terrestre.

Cette construction est susceptible d'une infinité de variations, les unes préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite.

le 6 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXII.

V. A. vient de voir comment, en ajoutant deux verres convèxes à une lunette astronomique, il en résulte une lunette terrestre qui nous réprésente les objets debout. Les quatre verres, dont une lunette terrestre est composée, sont susceptibles d'une infinité d'arrangemens diférens, tant par rapport à leurs distances, qu'à leurs foyers. Je vais expliquer *Tab. X. fig.* 1. les plus essentiels.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déja remarqué que celle des deux premiers verres AB est la somme de leurs distances de foyers, de même que celle des deux derniers verres CD, chaque paire pouvant être regardée comme une lunette simple, compo-

ſée de deux verres convèxes. Mais quelle doit être la diſtance entre les deux verres du milieu B C ? Peut-elle être laiſſée à notre bon plaiſir ? Puiſque, ſoit qu'on la prenne grande ou petite, le groſſiſſement, toujours compoſé des deux que chaque paire produiroit ſéparément, demeure le même.

II. En conſultant l'expérience, on appercevra bientôt, qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouït prèſque tout-à-fait, & c'eſt ce qui arrive encore quand on les éloigne trop. Dans l'un & l'autre cas, vers quelqu'objet qu'on dirige la lunette, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. C'eſt pourquoi les artiſtes approchent ou éloignent la derniére paire de verres de la premiére, juſqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ, & ne fixent les verres qu'après avoir trouvé cette ſituation. Or ils ont obſervé que, dans cet arrangement le plus avantageux, la diſtance des verres du milieu B C, eſt toujours plus grande que la ſomme des diſtances de foyer de ces mêmes verres.

IV. V. A. jugera aiſément que cette diſtance ne dépend point du hazard, mais qu'elle tire ſa détermination de la théorie, & cela beaucoup plus éxactement que par la ſeule expérience. Comme c'eſt le devoir d'un phyſicien de rechercher la cauſe de tous les phénomênes que l'expérience nous décou-

vre, je vais donc exposer les vrais principes qui nous fournissent la distance la plus avantageuse BC entre les deux verres du milieu. Voyez *Tab. X. fig.* 2.

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, considérons la route de celui qui, venant de l'extrêmité *o* de l'objet visible, passe par le milieu A du verre objectif: car si ce rayon n'est pas conduit dans l'œil, cette extrêmité *o* ne sera pas visible: or ce rayon ne souffre aucune réfraction dans le verre objectif, parcequ'il passe par son milieu A; il continuera donc sa route en ligne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera à son extrêmité *b*, puisque c'est le dernier rayon transmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le second verre changera de route, ensorte qu'il rencontrera quelque part en *n* l'axe des verres; ce qui arriveroit dans son foyer, si le rayon A*b* avoit été parallele à l'axe; mais puisqu'il sort du point A, sa réunion avec l'axe en *n* sera plus éloignée du verre B, que sa distance de foyer.

VII. Maintenant il faut placer le troisiéme verre C ensorte que le rayon, après avoir traversé l'axe en *n*, le rencontre précisément à son extrêmité *e*; d'où l'on voit que plus l'ouverture de ce verre C est grande, plus on doit le reculer du verre B, & plus la distance BC devient grande; mais de l'au-

tre côté, il faut bien ſe garder d'éloigner le verre C au-delà, puiſqu'alors le rayon lui échapperoit & n'en ſeroit plus tranſmis; c'eſt donc cette circonſtance qui détermine la juſte diſtance entre les deux verres du milieu BC, conformément à l'expérience.

VIII. Ce verre C produira une nouvelle refraction dans notre rayon, qui doit le conduire préciſément à l'extrêmité *d* du dernier oculaire D, qui, plus petit que C, rendra la ligne *c d* un peu convergente vers l'axe, & ſouffrira ainſi dans le dernier verre une réfraction telle, qu'il en eſt réuni avec l'axe à moins de diſtance que ſon foyer; & c'eſt là préciſément qu'il faut placer l'œil, pour recevoir tous les rayons tranſmis par les verres, & y découvrir le plus grand champ.

IX. On eſt en état par ce moyen de ſe procurer un champ, dont le diametre eſt prèſque deux fois plus grand que dans les lunettes aſtronomiques du même groſſiſſement. On obtient donc par ces lunettes à quatre verres, l'avantage que les objets ſont repréſentés debout, & celui d'un plus grand champ; ce qui eſt d'une très-grande conſéquence.

X. Enfin il eſt poſſible de trouver un arrangement entre ces quatre verres tel, que ſans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouïſſent entiérement, & que les objets y ſont repréſentés avec la plus grande

netteté. Mais peu d'artiſtes ſont capables d'atteindre à ce dégré de perfection.

le 10 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXIII.

APRÈS ces recherches ſur la conſtruction des lunettes, je dois rendre compte à V. A. de quelques précautions très-néceſſaires qui, quoiqu'elles ne regardent ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laiſſent pas d'être de la plus grande importance, deſorte que, ſi l'on ne les obſerve pas très-ſoigneuſement, la meilleure lunette devient tout-à-fait inutile. Il ne ſuffit pas d'arranger les verres de façon que tous les rayons qui y tombent, ſoient tranſmis au travers de ces verres dans l'œil, il faut outre cela empêcher que les rayons étrangers ne ſoient auſſi tranſmis par la lunette, afin qu'ils ne troublent point la repréſentation. Il faut donc prendre les précautions ſuivantes.

I, Les verres, dont une lunette eſt compoſée, doivent être enfermés dans un tuyau, afin que point d'autres rayons que ceux qui ſont tranſmis par l'objectif, ne puiſſent parvenir aux autres verres. Pour cet effet le tuyau doit être bien fermé partout, afin

qu'aucune lumiére ne puiſſe y entrer par quelque fente. S'il arrive par quelqu'accident que les tuyaux ſoient percés d'un trou, la lumiére étrangére qui y entre, étoufferoit la repréſentation des objets.

II. Il eſt auſſi fort important que l'intérieur du tuyau ſoit bien noirci partout, & même d'un noir très-foncé, puiſqu'on ſait que la couleur noire ne réflèchit point de rayons, quelque forte que ſoit la lumiére qui y tombe. Auſſi V. A. aura déja obſervé, que les tuyaux de lunettes ſont noircis en-dedans. Une ſeule réflèxion en fera voir la néceſſité.

III. L'objectif *Tab. X. fig.* 3. ne tranſmet pas ſeulement les rayons des objets que la lunette nous repréſente, mais auſſi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance, tel eſt le rayon *ha* qui tombe en-dedans ſur le parois du tuyau en *i*; ſi donc le tuyau étoit blanc ou d'une autre couleur en-dedans il en ſeroit éclairé, & engendreroit par lui-même de nouveaux rayons de lumiére, qui ne manqueroient pas de traverſer les autres verres, & de troubler la viſion en ſe mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais ſi l'intérieur du tuyau eſt teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons quelqu'éclairé qu'il puiſſe être. Cette noirceur eſt néceſſaire par toute la longueur du tuyau, puiſqu'il n'y a point

de noir ſi foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque foible lumiére, ainſi, quand même quelques rayons étrangers paſſeroient par le ſecond verre B, le noir du tuyau ſuivant les éteindroit aiſément tout-à-fait. Il y a auſſi un noir brillant, dont il faut bien ſe garder de ſe ſervir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'eſt pas ſuffiſante, on eſt encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour arrêter d'autant mieux la fauſſe lumiére; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette doit nous repréſenter. Voyez la *fig.* 4. *Tab. X.*

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets ſe trouvent le plus rétrècis dans le tuyau; ce qui arrive dans le lieu où les images y ſont repréſentées; puiſque les rayons ſont tous réunis là enſemble. Or le verre objectif A repréſente l'image dans ſon foyer en M, on n'a donc qu'à eſtimer la grandeur de cette image & y mettre un diaphragme dont le trou *m m* lui ſoit égal, ou tant ſoit peu plus grand. Car ſi le trou étoit plus petit que l'image, on perdroit ſur le champ apparent, ce qui ſeroit un grand défaut.

VII. C'eſt donc ce qu'il y auroit à obſerver ſur le diaphragme dans les lunettes aſtronomiques compoſées de deux verres convêxes.

Dans

Dans les lunettes terreſtres il ſe trouve deux images repréſentées dans le tuyau ; outre la premiére en M repréſentée par l'objectif dans ſon foyer, & que le ſecond verre B tranſporte à l'infini, le troiſiéme verre C repréſente encore une image dans ſon foyer N qui eſt debout, celle-la étant renverſée. C'eſt donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn* de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes avec le noir de l'intérieur du tuyau produiſent auſſi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien obſerver, que plus le champ que la lunette découvre eſt grand, moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes, puiſqu'alors les images deviennent plus grandes, deſorte que les trous des diaphragmes doivent être ſi grands, qu'ils ne ſauroient plus arrêter les faux rayons. Mais il faut alors d'autant plus ſoigneuſement bien noircir l'intérieur du tuyau, & le faire plus large, ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

le 13 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXIV.

Je ne doute pas que V. A. ne ſoit fort aiſe de ſe voir enfin délivrée de la ſèche théorie des lunettes, qui n'a prèſque d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur ſecours.

Quelle ſurpriſe n'éprouve-t-on pas de voir les objets fort éloignés, auſſi bien que s'ils étoient cent & pluſieurs fois plus près de nous, ſur-tout lorſqu'il nous eſt impoſſible d'en approcher, comme il arrive par rapport aux objets céleſtes! & V. A. tombera aiſément d'accord, qu'à l'aide des lunettes, on a dû découvrir dans les étoiles des choſes bien merveilleuſes.

En voyant la lune cent fois plus proche qu'elle n'eſt effectivement, on peut y obſerver des inégalités très-curieuſes, comme des vallées & des hauteurs exceſſives, qui reſſemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages conſtruits à deſſein qu'à des montagnes. L'on en tire un argument bien fort, pour prouver que la lune eſt habitée par des créatures raiſonnables, quoique la ſeule contemplation de la toute-puiſſance, jointe à la ſouveraine ſageſſe & bonté du créateur nous en fourniſſe de plus convaincans.

C'eſt ainſi qu'on a fait les découvertes les plus importantes ſur les planètes qui, à la ſimple vue, ne paroiſſent que des points lu-

mineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, & paroissent même beaucoup plus grandes encore.

V. A. ne sera pas peu surprise, quand j'aurai l'honneur de l'assûrer qu'avec la meilleure lunette, qui grossit plus de 200 fois, les étoiles fixes ne laissent pas de nous paroître comme des points, & même plus petites encore qu'à la vue simple; ce qui est d'autant plus surprenant, qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions, si nous en étions 200 fois plus près. Ne devroit-on pas en conclure que les lunettes perdent leur qualité à cet égard? Mais cette idée s'évanouït bientôt, quand on considère qu'elles nous découvrent des millions de petites étoiles qui échaperoient entiérement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands; & deux étoiles qui, à la vue simple, paroissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette, pour que l'on remarque entr'elles une distance considérable, ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes nous paroissent plus petites à travers qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord que les étoiles fixes nous paroissent plus grandes à la vue simple qu'elles ne devroient, & que cela vient d'une fausse lumiére qui s'y joint, causée par

leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fonds de l'œil fur la rétine, nos nerfs n'en font frappés que dans un point, mais par l'éclat de la lumiére, les nerfs voifins en font auffi ébranlés, & produifent le même fentiment que l'on éprouveroit fi l'image de l'objet dépeint fur la rétine, étoit beaucoup plus grande. C'eft ce qui arrive quand nous regardons de nuit une lumiére fort éloignée. Elle nous paroît beaucoup plus grande, & même plus que fi nous la voyons de près; cet aggrandiffement n'eft caufé que par une fauffe lueur. Or plus une lunette groffit, plus cet accident doit diminuer, tant parceque les rayons fouffrent quelqu'affoibliffement, que parceque la véritable image fur le fonds de l'œil devient plus grande: deforte que ce n'eft plus un feul point qui foutient toute l'impreffion des rayons. Ainfi, quelque petites que nous paroiffent les étoiles à travers une lunette, on peut prononcer hardiment, qu'à la vue fimple, elles nous paroîtroient encore beaucoup plus petites fans cette fauffe lumiére accidentelle, & cela autant de fois que la lunette groffit.

Il s'enfuit de-là que, puifque les étoiles fixes ne paroiffent que comme des points, malgré qu'elles foient groffies 200 fois, leur éloignement doit être éxorbitant. Il fera fort aifé à V. A. de comprendre comment on peut eftimer cette diftance. Le diamètre du foleil nous paroît fous un angle de 32 minutes:

ſi donc le ſoleil étoit 32 fois plus éloigné, il paroîtroit ſous un angle d'une minute, & ainſi, beaucoup plus grand encore qu'une étoile vue par la lunette, dont le diamètre n'excède pas deux ſecondes ou la trentiéme partie d'une minute. Il faudroit donc que le ſoleil fût encore 30 fois plus, c'eſt-à-dire, 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe obſervée avec le ſecours de la lunette. Or les étoiles ſont 200 fois plus éloignées de nous que la lunette ne nous les repréſente, & conſéquemment le ſoleil devroit être 200 fois 960, c'eſt-à-dire, 192000 fois plus éloigné qu'il n'eſt, avant que de ne pas nous paroître plus grand qu'une étoile fixe. Par conſéquent, ſi les étoiles fixes étoient des corps auſſi grands que le ſoleil, leurs diſtances ſeroient 192000 fois plus grandes que celle du ſoleil: ſi elles étoient encore plus grandes, leurs diſtances devroient être encore autant de fois plus grandes, & en les ſuppoſant même pluſieurs fois plus petites, leurs diſtances devroient toujours être plus de mille fois plus grandes que celle du ſoleil. Or la diſtance du ſoleil eſt environ de 15,000,000 milles d'Allemagne.

V. A. ne concevra pas ſans-doute, ſans le plus grand étonnement, cette diſtance prodigieuſe des étoiles fixes, & l'étendue entiére du monde. Quelle doit être la puiſſance de celui qui a créé cette immenſité, & qui en

eſt le maître abſolu? Adorons-le avec la plus profonde ſoumiſſion.

le 17 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXV.

V. A. aura bien déja remarqué que, lorſque la lune ſe lève, ou ſe couche, elle nous paroit beaucoup plus grande que lorſqu'elle ſe trouve au haut du ciel: & tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même obſervation par rapport au ſoleil. Cette apparence a toujours embarraſſé les philoſophes, & de quelque maniére qu'on l'enviſage, on rencontre des difficultés prèſqu'inſurmontables.

Il ſeroit ridicule de vouloir en conclure que le corps de la lune ſoit en effet plus grand lorſqu'elle paroît dans l'horizon, que lorſqu'elle eſt plus élevée. Car, outre que cette idée ſeroit abſurde en elle-même, il faut conſidérer que, quand la lune nous paroît à l'horizon, elle paroît à d'autres habitans de la terre plus élevée & ainſi plus petite. Or il eſt impoſſible que le même corps ſoit, en même tems, plus grand & plus petit.

Il ſeroit prèſqu'auſſi ridicule d'expliquer cet étrange phénomène, en ſuppoſant que la lune ſoit plus près de nous lorſqu'elle nous pa-

roît dans l'horizon, que quand elle eſt fort élevée; par la certitude qu'un corps nous paroît d'autant plus grand qu'il eſt plus proche de nous, & V. A. ſait que plus un objet eſt éloigné, plus il nous paroît petit. C'eſt préciſément par cette raiſon que les étoiles nous paroiſſent ſi extrêmement petites, quoique leur véritable grandeur ſoit prodigieuſe.

Mais toute probable que ſemble cette idée, elle ne ſauroit avoir lieu. Il y a même plus de certitude que la lune eſt plus éloignée de nous lorſqu'elle ſe lève ou qu'elle ſe couche, que lorſqu'elle eſt plus élevée: en voici la demonſtration, *Tab. X. fig.* 5.

Soit le cercle ABD la terre, & que la lune ſe trouve en L. Cela poſé, un habitant en A verra la lune dans ſon zénith, ou au plus haut point du ciel. Or un autre habitant en D, où la ligne DL friſe la ſurface de la terre, verra la lune en même tems dans ſon horizon, deſorte que la lune paroîtra en même tems au ſpectateur A dans ſon zénith, & à l'autre ſpectateur D dans ſon horizon. Mais il eſt clair que la derniére diſtance DL eſt plus grande que la premiére AL, & par conſéquent la lune eſt plus éloignée de ceux qui la voyent à l'horizon, que de ceux qui la voyent près de leur zénith. Il s'enſuit ouvertement de-là, que la lune étant vue à l'horizon devroit nous paroître plus petite, puiſqu'elle eſt effectivement plus éloignée de nous, que lorſqu'elle eſt fort élevée. Il y a donc

à s'étonner que nous obſervions préciſément le contraire, & que la lune nous paroiſſe beaucoup plus grande, quand nous la voyons près de l'horizon, qu'au milieu du ciel.

Plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, & plus il mérite notre attention: puiſqu'il eſt certain que la lune étant plus éloignée à l'horizon devroit nous paroître plus petite, & que cependant tout le monde ſoutient unanimément qu'elle paroît alors conſidérablement plus grande. Cette contradiction eſt évidente, & ſemble même renverſer tous les principes établis dans l'optique, qui néanmoins ſont auſſi bien démontrés que ceux de la géomêtrie.

Je crois avoir mis dans tout ſon jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'autant mieux ſentir à V. A. l'importance du véritable dénouement de cette grande difficulté. Sans entrer dans l'éxamen de ce jugement général de tous les hommes ſur la prodigieuſe grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la queſtion principale: s'il eſt vrai que la lune étant près de l'horizon, nous paroît effectivement plus grande?

V. A. ſait qu'on a des moyens très-ſûrs de meſurer éxactement les diamètres des corps céleſtes, en aſſignant le nombre des dégrés & des minutes qu'ils occupent dans le ciel: ou ce qui revient au même, en meſurant *Tab. X. fig. 6.* l'angle EOF que forment les lignes

EO & FO tirées des bouts opposés de la lune, à l'œil du spectateur O: & cet angle EOF est ce qu'on nomme le diamètre apparent de la lune. On a aussi des instrumens très-propres à déterminer éxactement cet angle; or quand on s'en sert pour mesurer le diamètre de la lune, d'abord à son lever & ensuite lorsqu'elle est montée bien haut dans le ciel, on trouve effectivement son diamètre un peu plus petit dans le premier cas que dans l'autre, comme l'inégalité des distances l'éxige. Il n'y a aucun doute à former sur cet article; mais, par la même raison, notre difficulté au lieu de diminuer augmente, & l'on demandera avec d'autant plus d'empressement, pourquoi tout le monde juge la lune plus grande à son lever & à son coucher quoique son diamètre apparent soit alors effectivement plus petit? Et quelle est la raison de cet éblouïssement général chez tous les hommes. L'astronome, qui sait parfaitement que le diamètre apparent de la lune est plus petit alors, s'y trompe comme le paysan le plus ignorant.

le 20 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXVI.

V. A. n'auroit pas cru que la ſimple apparition de la lune fût aſſujettie à tant de difficultés; mais j'eſpère de les applanir par les réflèxions ſuivantes.

I. Il n'eſt pas étonnant que notre jugement ſur la grandeur des objets ne ſoit pas d'accord avec l'angle viſuel ſous lequel nous les voyons: l'expérience journaliére nous en fournit aſſez de preuves. Un chat, par éxemple, ſe préſente devant moi ſous un angle plus grand qu'un bœuf à la diſtance de 100 pas. Cependant je ne m'aviſerai pas de juger le chat plus grand que le bœuf: & V. A. voudra bien ſe ſouvenir que notre jugement ſur la grandeur des choſes eſt toujours très-intimément lié avec celui de la diſtance; deſorte que ſi nous nous trompons dans l'eſtime de la diſtance, notre jugement ſur la grandeur devient néceſſairement faux.

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois qu'une mouche paſſant ſubitement devant nos yeux, ſans que nous y penſions, ſi notre vue eſt fixée ſur des objets éloignés, nous imaginons d'abord que la mouche eſt fort éloignée de nous, & comme elle nous paroît ſous un angle aſſez conſidérable, nous la prenons au premier inſtant pour un gros oiſeau qui, dans l'éloignement, nous paroîtroit

ſous le même angle. Il eſt donc inconteſtable que notre jugement ſur la grandeur des objets ne ſe règle point ſur l'angle viſuel ſous lequel ils ſont vus, & qu'il y a une très-grande diférence entre la grandeur apparente des objets & la grandeur jugée ou eſtimée : la premiére ſe règle ſur l'angle viſuel, & l'autre dépend de la diſtance à laquelle nous jugeons que les objets ſont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque, j'obſerve que nous ne devrions pas dire, que nous voyons la lune plus grande à l'horizon, qu'à une hauteur conſidérable. Cela eſt abſolument faux, & nous la voyons même tant ſoit peu plus petite. Mais pour parler éxactement, il faut dire que nous jugeons & eſtimons la lune plus grande, lorſqu'elle ſe trouve dans l'horizon : & cela eſt vrai au pied de la lettre, du conſentement unanime de tout le monde. Cette remarque ſuffit pour diſſiper la contradiction rapportée ci-deſſus ; & rien n'empêche que la lune à ſon lever ou à ſon coucher ne puiſſe être jugée ou eſtimée plus grande, quoiqu'elle ſoit vue ſous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi nous voyons la lune plus grande à l'horizon ; ce qui ſeroit impoſſible, puiſqu'elle nous paroît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la meſure de l'angle viſuel. La difficulté ſe réduit donc à cette queſtion : pourquoi jugeons - nous, ou eſti-

mons-nous la lune plus grande alors ? Ou plutôt il faut rendre raiſon de cette eſtime bizarre. La choſe n'eſt plus ſurprenante en elle-même, puiſque nous connoiſſons mille cas où nous jugeons des objets fort grands, malgré que nous les voyons ſous de très-petits angles.

V. Nous n'avons donc qu'à dire que, lorſque la lune ſe lève ou ſe couche, nous la jugeons plus éloignée de nous, que lorſqu'elle eſt montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette eſtime, quelle qu'en puiſſe être la cauſe, il s'enſuit néceſſairement que nous devons auſſi juger la lune d'autant plus grande. Car toujours, plus nous eſtimons qu'un objet eſt éloigné, plus nous préſumons qu'il eſt grand, & cela préciſément dans le même rapport. Dès que je m'imagine par quelqu'illuſion que ce ſoit, qu'une mouche qui paſſe devant mes yeux ſe trouve à la diſtance de 100 pas, je ſuis obligé, prèſque malgré moi, de la juger autant de fois plus grande, que 100 pas ſurpaſſent la véritable diſtance de la mouche à mes yeux.

VII. Nous voilà donc réduits à une nouvelle queſtion : pourquoi eſtimons-nous la lune plus éloignée de nous, lorſqu'elle ſe trouve dans l'horizon ? Et pourquoi cette illuſion eſt-elle ſi générale, que perſonne n'en eſt éxemt ? Car l'illuſion de s'imaginer que la lune ſoit alors beaucoup plus éloignée de nous eſt bien étrange. Il eſt bien vrai que la lune

eſt en effet alors un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente, mais la diférence eſt ſi petite qu'elle ne ſauroit être ſenſible. D'ailleurs, le ſoleil, quoique 100 fois plus éloigné que la lune, ne nous paroît pas tel, & notre vue rapporte même les étoiles fixes prèſqu'à la même diſtance.

VII. Ainſi, quoique la lune étant à l'horizon ſoit effectivement un peu plus éloignée, cette circonſtance n'entre pour rien dans la queſtion préſente, & cette eſtime univerſelle par laquelle tout le monde juge alors la lune à plus de diſtance qu'elle n'eſt réellement, doit être fondée ſur des raiſons tout-à-fait diférentes, & capables d'éblouïr tout le monde. Car puiſque cette eſtime eſt indubitablement fauſſe, il faut que les raiſons qui nous y déterminent, ſoient bien frappantes.

VIII. Pluſieurs philoſophes, pour expliquer ce phénomène, ont ſoutenu que la raiſon en étoit, que nous découvrons beaucoup d'objets entre nous & la lune, comme des villes, des villages, des forêts & des montagnes, ce qui eſt cauſe, ſelon eux, qu'elle nous paroit alors beaucoup plus éloignée; au lieu que lorſqu'elle eſt fort élevée, nous n'obſervons aucun corps entr'elle & nous; ainſi, diſent-ils, elle doit nous paroître plus près. Mais cette explication, quelqu'ingénieuſe qu'elle ſemble au premier coup d'œil, ne ſauroit être admiſe. En regardant la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets

intermédiaires, elle ne laiſſe pas de nous paroître plus grande. Outre cela, nous n'eſtimons pas toujours que les objets, entre leſquels nous découvrons pluſieurs autres corps, ſoient plus éloignés. Une grande ſalle, par éxemple, tout-à-fait vuide, nous paroît ordinairement plus étendue, que ſi elle eſt remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous & les murailles.

le 24 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXVII.

NOUS voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cette illuſion univerſelle pour tous les hommes, ſans exception, que la lune paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, que quand elle eſt fort élevée. J'ai déja remarqué que ce phénomêne eſt d'autant plus bizarre, que le diamêtre apparent de la lune eſt même alors tant ſoit peu plus petit : deſorte qu'on devroit dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons telle.

Auſſi ai-je obſervé que, très-ſouvent, notre jugement difère beaucoup de la viſion même. Nous n'héſitons pas, par éxemple, de juger qu'un cheval éloigné de 100 pas eſt plus

grand qu'un chien à un pas de diſtance; quoique la grandeur apparente du chien ſoit ſans-contredit plus grande, ou, ce qui revient au même, quoique l'image du chien dépeinte au fonds de l'œil, ſoit plus grande que celle du cheval. Notre jugement dans ces cas a égard à la diſtance, & jugeant le cheval beaucoup plus éloigné que le chien, nous décidons qu'il eſt beaucoup plus grand.

Il eſt donc très vraiſemblable que la même circonſtance a lieu dans la viſion de la lune, & nous fait juger la lune plus éloignée dans l'horizon, que lorſqu'elle eſt fort élevée. A l'égard du cheval, ce jugement de la diſtance étoit fondé ſur la vérité, mais ici, comme il eſt abſolument faux, c'eſt une illuſion étrange, qui doit pourtant avoir un certain fondement, puiſque tout le monde en convient, & qu'on ne ſauroit l'attribuer au caprice. En quoi peut-il conſiſter? C'eſt ce dont je vais entretenir V. A.

I. Tout le monde ſe repréſente le bleu du ciel comme une voute applatie, dont le ſommet eſt beaucoup plus près de nous que le bas, où elle ſe confond avec l'horizon. Ainſi, un homme placé ſur une plaine AB *Tab. X. fig. 7.* qui s'étend auſſi loin que ſa vue, apperçoit la voute du ciel, qu'on nomme communément firmament, ſous la figure AEFB, où les diſtances CA & CB ſont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

II. Cette idée est aussi, sans contredit, une très-grande illusion, puisque rien n'est borné ou fermé au-dessus de nous par une telle voute. C'est un vuide d'une étendue immense, puisqu'il va jusqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la distance surpasse toute la force de notre imagination. Je me sers du mot vuide, pour l'opposer aux corps grossiers de la terre. Car, près de la terre, c'est notre atmosphère qui occupe l'espace, &, plus loin, c'est cette matiére beaucoup plus subtile qu'on nomme *l'éther*.

III. Cependant, quelqu'imaginaire que soit cette voute, elle est très-réelle dans notre imagination, & tous les hommes, savans & idiots, sont dans la même illusion. C'est prèsque à la surface de cette voute que nous nous représentons le soleil & la lune avec toutes les étoiles, comme des clous brillans qui y sont attachés; & malgré la connoissance que nous avons du contraire, nous ne saurions nous défendre de cette idée illusoire.

IV. Cela posé, lorsque la lune se trouve à l'horizon, notre imagination la rapporte au point A ou B de cette voute prétendue, & c'est par-là que nous estimons alors sa distance d'autant plus grande, que nous jugeons la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand, en montant, elle s'approche du zénith, nous pensons qu'elle s'ap-

s'approche de nous, & ſi elle atteignoit le zénith, nous la croirions alors à ſa plus petite diſtance.

V. L'illuſion ſur la diſtance entraine néceſſairement celle ſur la grandeur. Puiſque la lune en A nous paroît beaucoup plus éloignée de C, que dans le zénith, nous ſommes en quelque maniére forcés d'en conclure, que la lune même eſt d'autant plus grande; & cela en même raiſon que la diſtance CA nous paroît ſurpaſſer celle CZ. Tous les hommes ne ſeront peut-être pas trop d'accord ſur cette proportion; l'un dira que la lune lui paroît deux fois plus grande à l'horizon, un autre trois fois, & la plûpart ſe déclareront pour le milieu entre deux & trois; mais tous ſe réuniront pour la choſe même.

VI. Il eſt à propos de remettre à cette occaſion ſous les yeux de V. A. la démonſtration de cette conſéquence: comment le jugement de la grandeur eſt une ſuite néceſſaire de l'eſtime de la diſtance.

Quand la lune eſt près de l'horizon, nous la voyons *Tab. X. fig.* 8. ſous un certain angle, lequel ſoit MCA, le ſpectateur étant en C: & quand elle eſt fort élevée, ſoit NCD l'angle ſous lequel nous la voyons. Il eſt très-certain que ces deux angles MCA & NCD ſont bien à-peu-près égaux entr'eux, la diférence étant inſenſible.

VII. Mais dans le premier cas, puiſque nous

estimons la lune beaucoup plus éloignée, soit à la ligne CA, en la rapportant à la voute imaginaire décrite ci-dessus; il s'ensuit que nous estimons le diamètre de la lune égal à la ligne MA. Mais dans l'autre cas la distance de la lune CD nous paroît beaucoup plus petite, & par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA, la grandeur estimée DN sera beaucoup plus petite que AM.

VIII. Pour ne laisser aucun doute sur ceci, on n'a qu'à couper les lignes C*d*, C*n* égales aux lignes CD & CN, & puisque dans les deux triangles C*dn* & CDN les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, & par conséquent la ligne DN sera égale à *dn*; or *dn* est visiblement plus petite que AM & cela autant de fois que la distance *cd* ou CD est plus petite que CA. V. A. doit donc comprendre clairement ce qui nous fait estimer la lune plus grande à l'horizon que près du zénith.

le 29 Avril 1762.

LETTRE CCXXVIII.

V. A. me reprochera sans-doute; que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre: elle m'objectera

que la voute imaginaire du ciel est aussi inconcevable que l'aggrandissement apparent de la lune & des autres astres près de l'horizon. Cette objection est trop bien fondée, pour que je ne doive pas expliquer à V. A. la véritable raison de ce que le ciel nous paroît sous la forme d'une voute applatie par le haut. Je vais tâcher de m'en acquiter par les réfléxions suivantes.

I. Pour rendre raison de cette voute imaginaire, il faut dire que cela vient de ce que les objets célestes, que nous voyons près de l'horizon, nous paroissent plus éloignés que ceux que nous voyons près du zénith; & c'est sans-doute une pétition de principe très-formelle, que les logiciens ont droit de rejetter, comme un vice insupportable dans nos raisonnemens. En effet, après avoir dit plus haut que la voute imaginaire du ciel nous fait paroître la lune plus éloignée à l'horizon que près du zénith, il est ridicule de dire, que ce qui nous fait imaginer cette voute, est que les objets horizontaux nous paroissent plus éloignés que les verticaux.

VII. Il n'étoit cependant pas inutile de parler de cette voute imaginaire, quoique nous n'en soyons pas plus avancés pour cela; & quand j'aurai expliqué pourquoi les objets célestes nous paroissent plus éloignés lorsque nous les voyons près de l'horizon, V. A.

comprendra en même tems la raiſon de cette double illuſion univerſelle, dont l'une eſt l'aggrandiſſement apparent des aſtres dans l'horizon, & l'autre la voute applatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les objets céleſtes vus à l'horizon, nous paroiſſent plus éloignés que lorſqu'ils ſe trouvent à quelque hauteur conſidérable : je dis maintenant que c'eſt parceque ces objets nous paroiſſent moins brillans: ce qui m'impoſe la double tâche de montrer, pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, & d'expliquer comment cette circonſtance entraine néceſſairement le jugement d'une plus grande diſtance. J'eſpère de remplir l'une & l'autre à la ſatisfaction de V. A.

IV. Le phénomène même ne ſauroit être révoqué en doute. Quelque grand que ſoit vers midi l'éclat du ſoleil, que perſonne ne ſauroit fixer alors, V. A. ſait que le matin & le ſoir lorſqu'il ſe lève ou qu'il ſe couche, on peut le regarder ſans en avoir la vue incommodée; & la même choſe arrive par rapport à la lune & à toutes les étoiles, dont l'éclat eſt extrêmement affoibli dans le voiſinage de l'horizon. Auſſi ne voit-on pas les plus petites étoiles quand elles ne ſont que peu élevées au-deſſus de l'horizon, tandis qu'on les voit aſſez diſtincte-

ment lorſqu'elles ſont parvenues à une certaine hauteur.

V. Ce fait ſuffiſamment conſtaté, il s'agit de découvrir la cauſe de cet affoibliſſement de lumiére. Il eſt aſſez clair que nous ne ſaurions la chercher que dans la nature de notre atmoſphère, ſoit l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'eſt pas parfaitement tranſparent. Car s'il l'étoit, deſorte que tous les rayons y fuſſent tranſmis ſans ſouffrir aucune diminution, il n'eſt pas douteux que les étoiles devroient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles ſe trouvaſſent.

VI. Mais l'air, matiére beaucoup moins déliée & moins ſubtile que l'éther dont la tranſparence eſt parfaite, eſt toujours chargé de particules hétérogènes qui s'y élèvent de la terre, telles que les exhalaiſons & les vapeurs, & qui ſont nuiſibles à ſa tranſparence; enſorte que ſi quelque rayon rencontre une telle particule, il en eſt intercepté & prèſqu'éteint. Auſſi eſt-il évident que, plus l'air eſt chargé de ces particules qui ſont des obſtacles à la tranſmiſſion de la lumiére, plus les rayons doivent s'y perdre, & V. A. ſait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air de prèſque toute ſa tranſparence, tellement que, ſouvent, on ne peut plus diſtinguer les objets à trois pas de diſtance.

VII. Que les points marqués dans la *fig. 9. Tab. X.* repréſentent de telles parcelles parſemées dans l'air, dont le nombre eſt plus ou moins grand, ſelon que l'air eſt plus ou moins ſerein. Il eſt évident que pluſieurs des rayons qui traverſent cet eſpace doivent ſe perdre, & que la perte ſera d'autant plus grande, que le trajet qu'ils ont à parcourir dans cet air, ſera grand. Nous voyons donc que les objets éloignés deviennent inviſibles dans un brouillard, pendant que ceux qui ſont fort près de l'œil ſont encore apperçus, parceque les rayons des premiers rencontrent en chemin un plus grand nombre de parcelles qui les arrêtent.

VIII. Il faut en conclure que, plus le trajet que les rayons des aſtres ont à faire dans l'atmoſphère pour parvenir à nos yeux eſt long, plus leur perte ſoit affoibliſſement doit être conſidérable. V. A. n'aura plus là-deſſus le moindre doute. Il reſte donc ſimplement à prouver, que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon, ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmoſphère, que lorſqu'elles ſe trouvent plus près de notre zénith. V. A. comprendra ſûrement alors, pourquoi les aſtres paroiſſent beaucoup moins brillans près de l'horizon, à leur lever & à leur coucher. Ce ſera le ſujet de la lettre ſuivante.

le 1 Mai 1762.

LETTRE CCXXIX.

Ce que je viens d'avancer, que les rayons des astres qui se trouvent à l'horizon ont plus de chemin à parcourir dans notre atmosphère, paroîtra peut-être bien paradoxe à V. A. vu que l'atmosphère s'étend par-tout à la même hauteur, desorte qu'en quelque lieu que se trouve une étoile, ses rayons doivent toujours pénètrer de toute sa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. J'espère que les réflèxions suivantes dissiperont ses doutes.

I. Il faut d'abord se former une idée juste de l'atmosphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur ABCD *Tab. X. fig.* 10. représente la terre, & l'extérieur ponctué *a b c d* termine l'atmosphère. Remarquons que, par-tout, à mesure que l'air s'élève au-dessus de la surface de la terre, il devient toujours plus subtil & plus rare : desorte qu'il se perd enfin insensiblement avec l'éther qui remplit tous les espaces célestes.

II. L'air le plus grossier, le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumiére, se trouve par-tout en bas près de la surface de la terre. Il devient donc plus rare en montant, moins nuisible à la lumiére; & il est déja si subtil à la hauteur d'un mille d'Allemagne qu'il ne sauroit plus causer de perte sensible à la lumiére. On peut donc fixer la

distance entre le cercle intérieur & extérieur d'environ un mille, tandis que le demi-diamêtre de la terre en contient environ 860: desorte que la hauteur de l'atmosphère est fort peu de chose rélativement à la grandeur du globe de la terre.

III. Considérons maintenant *Tab. X. fig.* 11. un spectateur en A sur la surface de la terre; & tirant du centre de la terre G par A la ligne GZ elle sera dirigée vers le zénith du spectateur. La ligne AS, qui y est perpendiculaire & qui touche la terre, sera horizontale pour lui. Conséquemment, il verra une étoile en Z dans le zénith ou au sommet du ciel, mais une étoile en S lui paroîtra dans l'horizon à son lever ou à son coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions chaque étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pu l'exprimer dans la figure.

IV. V. A. n'a qu'à jetter les yeux sur cette figure, elle verra que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmosphère, que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le spectateur en A. Ceux de l'étoile Z n'ont qu'à traverser la hauteur de l'atmosphère *a* A qui est à-peu-près d'un mille, & ceux de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin *b* A, visiblement beaucoup plus long; & si la figure pouvoit mieux répondre à la vérité, desorte que le rayon GA fût 860 fois plus long que la hauteur A*a*, on verroit que la distance A*b* surpasseroit 40 milles.

V. Auſſi eſt-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit eſpace à parcourir par la baſſe atmoſphère, qui eſt la plus chargée de vapeurs, au lieu que les rayons de l'étoile S y font un trajet très-conſidérable, & ſont obligés de ramper, pour ainſi dire, ſur la ſurface de la terre. Il eſt donc très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne ſouffrent prèſqu'aucun affoibliſſement, & que ceux de l'étoile S doivent être prèſqu'éteints, à cauſe du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air groſſier.

VI. Il eſt donc inconteſtable que les aſtres que nous voyons à l'horizon, doivent paroître avec un éclat extrêmement affoibli. Et V. A. comprendra fort aiſément pourquoi nous pouvons fixer ſans peine les yeux ſur le ſoleil levant ou couchant, tandis qu'à midi, que le ſoleil eſt haut, ſon éclat eſt inſupportable. Voilà le premier article que je m'étois propoſé de démontrer: il me reſte à prouver l'autre; ſavoir, que c'eſt l'affoibliſſement de la lumiére qui nous force prèſque à nous repréſenter les corps céleſtes comme beaucoup plus éloignés de nous, que ſi nous les voyons dans leur éclat.

VII. Il faut en chercher la raiſon dans les objets terreſtres que nous voyons tous les jours, & ſur la diſtance deſquels nous formons un jugement. Mais par la même raiſon que les rayons, en paſſant par l'air, ſouf-

frent quelqu'affoibliſſement, il eſt clair que, plus un objet eſt éloigné de nous, plus il perd de ſa clarté, & plus il en perd plus il nous paroît obſcur. Ainſi une montagne fort éloignée nous paroît très-ſombre, mais ſi nous en approchons aſſez, nous diſtinguons facilement les arbres, ce qui n'eſt pas poſſible à un grand éloignement.

VIII. Cette obſervation ſi générale qui ne nous trompe jamais dans les objets terreſtres, a produit en nous, dès notre jeuneſſe, ce principe fondamental par lequel nous jugeons les objets d'autant plus éloignés, que les rayons qui nous en viennent ont été affoiblis. C'eſt donc en vertu de ce principe que nous eſtimons la lune beaucoup plus éloignée de nous à ſon lever ou à ſon coucher, que quand elle a déja atteint une hauteur conſidérable; & par la même raiſon, nous la jugeons d'autant plus grande. Je me flatte que V. A. trouvera ces raiſons parfaitement bien fondées, & ce phénomène bizarre auſſi bien éclairci qu'il ſoit poſſible.

le 4 Mai 1762.

LETTRE CCXXX.

Le principe de notre imagination, par lequel je viens d'expliquer ce phénomène de la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au

milieu du ciel, eſt tellement enraciné dans notre eſprit, qu'il eſt la ſource de mille autres illuſions, dont je me contenterai de mettre quelques-unes ſous les yeux de V. A.

Dès notre jeuneſſe, nous nous ſentons entrainés comme malgré nous, à juger les objets d'autant plus éloignés, que leur éclat eſt plus affoibli: &, d'un autre côté, les objets fort brillans nous paroiſſent plus proches qu'ils ne le ſont. Cette illuſion ne peut venir que d'une imagination peu règlée, qui nous mène très-ſouvent à faux. Elle nous eſt néanmoins ſi naturelle, & elle eſt ſi univerſelle, qu'il n'y a perſonne qui ſoit maître de s'en garantir, quoique l'erreur, qui en réſulte, ſoit ſouvent très-manifeſte, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A. par rapport à la lune: mais nous ſommes trompés encore en quantité d'autres occaſions dont je vais développer quelques-unes.

I. C'eſt une illuſion fort connue que, de nuit, le feu d'une incendie nous paroît beaucoup plus proche qu'il n'eſt effectivement. La raiſon en eſt bien claire: le feu brille avec un très-grand éclat, & ſelon le principe établi de notre imagination, nous l'eſtimons toujours plus près qu'il n'eſt.

II. C'eſt ainſi qu'une grande ſalle dont les parois ſont bien blanchis, nous paroît toujours plus petite. V. A. ſait que le blanc eſt de la couleur la plus brillante: nous eſtimons

donc les murailles de cette ſalle trop proches de nous, & par conſéquent l'étendue apparente en eſt diminuée.

III. Or dans une ſalle dont les murailles ſont couvertes de drap noir, ſuivant l'uſage des grands deuils, nous éprouvons un effet entiérement contraire. Une chambre nous paroît alors beaucoup plus ſpacieuſe qu'elle n'eſt effectivement: le noir eſt ſans-doute la couleur la plus ſombre, puiſqu'elle ne renvoye preſqu'aucune lumiére dans nos yeux; c'eſt pourquoi il nous ſemble que les parois noirs ſont beaucoup plus éloignés de nous qu'ils ne le ſont en effet. Une chambre dont on couvre les murailles de toile noire paroîtra donc plus grande; & ſi, au contraire, on les fait bien blanchir, elle paroîtra plus petite.

IV. Perſonne ne profite mieux de cette illuſion ſi naturelle & ſi commune à tous les hommes que les peintres. V. A. ſait que le même tableau nous repréſente des objets dont quelques-uns paroiſſent extrêmement éloignés, pendant que d'autres ſemblent fort proches; & c'eſt en quoi conſiſte la plus grande reſſource d'un habile peintre. Il eſt bien ſurprenant que, malgré que nous ſachions très-certainement que toutes les repréſentations d'un tableau ſont exprimées ſur la même ſurface, & ainſi à-peu-près à une égale diſtance de nos yeux, nous n'en ſoyons pas moins trompés, & que nous jugions les

unes fort loin & les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un mêlange adroit de lumiére & d'ombre, qui fournit effectivement aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tableau, pour s'appercevoir que les objets qui doivent nous paroître fort éloignés, sont exprimés foiblement & assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous appercevons bien, par exemple, des personnes, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, le nez, ni la bouche; & c'est conformément à cette apparence que le peintre représente les objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, & prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéamens du visage, les plis de l'habit &c. cette représentation semble pour ainsi dire sortir alors du tableau, tandis que d'autres y paroissent enfoncées & fort reculées.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion qu'est fondé tout l'art de la peinture. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art ne sauroit plus avoir lieu dans toutes ses parties, pas plus que si nous étions aveugles. Le peintre auroit beau faire valoir tout son talent dans le mêlange des couleurs, nous dirions, voilà sur cette table,

ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là quelques lignes blanchâtres: tout ſe trouve ſur la même ſurface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, ainſi, aucun objet réel ne ſauroit être repréſenté de cette maniére: on ne ſauroit alors le regarder autrement que comme une écriture ſur le papier, & l'on ſe fatigueroit peut-être inutilement à vouloir déviner la ſignification de toutes les taches diverſement colorées. Ne ſerions nous pas fort à plaindre dans cet état de perfection, d'être privés des plaiſirs que nous procure tous les jours un art ſi amuſant & ſi inſtructif.

le 8 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXI.

V. A. vient de comprendre la cauſe de l'illuſion par laquelle la lune, ainſi que le ſoleil, nous paroît beaucoup plus grande dans l'horizon, qu'à une hauteur conſidérable, conſiſtant en ce que nous eſtimons alors ces corps plus éloignés de nous, eſtime fondée ſur ce que leur lumiére ſouffre alors un affoibliſſement conſidérable, par le long trajet qu'elle fait à travers l'atmoſphère dans la baſſe région, qui eſt la plus chargée de vapeurs & d'exhalaiſons qui diminuent la tranſparence. Tel eſt le ré-

ſumé des réflèxions que j'ai eu l'honneur de propoſer à V. A. ſur ce ſujet.

Cette qualité de l'air qui diminue ſa tranſparence, pourroit être regardée au premier coup-d'œil comme un défaut. Mais ſi nous en conſidérons les ſuites, nous trouvons que, bien loin que c'en ſoit un, nous devons au contraire y reconnoître la ſageſſe & la bonté infinie du créateur. C'eſt à cette impureté de l'air que nous ſommes redevables du ſpectacle merveilleux & raviſſant que nous offre le bleu du ciel; car les particules opaques qui arrètent les rayons de lumiére, en ſont éclairées, & nous renvoyent enſuite leurs propres rayons, produits dans leur ſurface par un trémouſſement violent, comme il arrive dans tous les corps opaques. Or c'eſt le nombre de vibrations qu'elles reçoivent qui nous repréſente ce magnifique bleu. Cette circonſtance mérite bien que je la développe clairement.

I. J'obſerve d'abord que ces particules ſont extrèmement petites & fort éloignées entr'elles, outre qu'elles ſont très-déliées, & prèſque tout-à-fait tranſparentes. De-là vient que chacune ſéparément n'eſt abſolument point perceptible, & que nous ne pouvons en ètre affectés que quand un très-grand nombre envoye ſes rayons à la fois, & prèſque ſelon la mème direction, dans nos yeux. Il faut donc la réunion des rayons de pluſieurs, pour exciter une ſenſation.

II. Il en ſuit donc clairement que celles de ces particules qui ſont près de nous, échappent

à nos ſens, puiſqu'il faut les conſidérer comme des points diſperſés par la maſſe de l'air.

Mais celles qui ſont fort éloignées de l'œil, comme *Tab. XI. fig.* 1. les points *a*, *b*, *c*, réuniſſent dans l'œil, prèſque ſelon la même direction, leurs rayons qui, par là, deviennent aſſez forts pour frapper notre vue, ſur-tout quand on conſidère que des particules ſemblables plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainſi que d'autres plus voiſines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorſqu'il eſt ſérein, n'eſt donc autre choſe que le réſultat de toutes ces particules diſperſées dans l'atmoſphère, & principalement de celles qui ſont fort éloignées de nous; on peut donc bien dire qu'elles ſont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient aſſez foncé & ſenſible, que lorſqu'elles ſont en très-grand nombre, & qu'elles joignent enſemble leurs rayons ſelon la même direction.

IV. L'art produit un effet ſemblable. Si, en diſſolvant une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau, on laiſſe tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, & ſi l'on en verſe dans un petit gobelet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-foible. Mais qu'on en rempliſſe un grand vaſe, & qu'on le regarde de loin, on y voit un bleu très-foncé. La même expérience peut ſe faire avec d'autres couleurs. C'eſt ainſi

ainſi que le vin de Bourgogne en très-petite quantité, paroît à peine un peu rougeâtre; & que dans une grande phiole bien remplie, la couleur rouge paroîtra très-foncée.

V. L'eau, dans un baſſin grand & profond, paroît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité ſoit tout-à-fait claire & limpide. Cette couleur eſt ordinairement plus ou moins verdâtre; ce qui fait dire que les derniéres particules de l'eau le ſont auſſi, mais d'une couleur extrêmement déliée; deſorte qu'il faut en regarder un grand volume, avant de s'en appercevoir, parceque les rayons de pluſieurs particules ſe joignent alors enſemble pour produire cet effet.

VI. Comme il paroît probable par cette obſervation, que les derniéres particules de l'eau ſont verdâtres, on pourroit ſoutenir que la même raiſon par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac & d'un étang, nous paroiſſent vertes, eſt celle par laquelle le ciel nous paroît bleu. Car il eſt plus vraiſemblable que toutes les particules de l'air ayent une légére teinture de bleu, mais ſi foible qu'elle ne s'apperçoit que quand on regarde une maſſe immenſe, comme toute l'étendue de l'atmoſphère, qu'il ne l'eſt d'attribuer cette couleur aux vapeurs qui voltigent dans l'air & qui n'y appartiennent pas.

VII. En effet, plus l'air eſt pur & dégagé d'exhalaiſons, plus le bleu du ciel a d'éclat; ce qui prouve ſuffiſamment, qu'il faut en chercher la raiſon dans les particules propres de

l'air. Les matiéres étrangéres qui s'y mêlent, comme les exhalaiſons, deviennent au contraire nuiſibles à ce beau bleu, & ne ſont qu'en altérer l'éclat. Lorſque ces vapeurs chargent trop l'air, elles cauſent ici-bas des brouillards, & nous dérobent entiérement le ſpectacle de la couleur bleue ; ſi elles ſont plus élevées, comme cela arrive ordinairement, il s'en forme des nuages qui couvrent ſouvent le ciel tout entier, & nous offrent une couleur toute autre que ce bleu de l'air pur ; c'eſt donc une nouvelle qualité de l'air, outre celle de la ſubtilité, de la fluidité & de l'élaſticité que j'ai eu déja l'honneur d'expoſer à V. A., c'eſt-à-dire, que les derniéres particules de l'air, ſont bleuâtres de leur nature.

le 11 Mai 1762.

LETTRE CCXXXII.

Indépendamment du beau ſpectacle du bleu du ciel dont nous fait jouïr cette teinture de l'air qui nous environne, nous ſerions bien malheureux s'il étoit parfaitement tranſparent & dépouillé de ces particules bleuâtres ; mais c'eſt encore un nouveau ſujet pour nous de reconnoître & admirer la bonté infinie & la ſageſſe du Créateur.

Suppoſons, pour en convaincre parfaitement V. A., que l'air ſoit tout-à-fait tranſparent &

ſemblable à l'éther, qui, comme nous le ſavons, tranſmet tous les rayons des étoiles ſans en arrêter aucun & ne contient point de particules éclairées elles-mêmes par les rayons, parcequ'une telle particule ne ſauroit l'être ſans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air ſe trouvoit dans cet état, les rayons du ſoleil le traverſeroient librement, ſans qu'aucune lumiére en fut renvoyée dans nos yeux: nous ne recevrions que les rayons qui viennent immédiatement du ſoleil. Le ciel entier, excepté le lieu où eſt le ſoleil, nous paroîtroit donc tout-à-fait obſcur, &, au lieu de ce bleu brillant, nous n'y découvririons en regardant en haut, qu'un noir très-foncé & la nuit la plus obſcure.

La *fig.* 2. *Tab. XI.* repréſente le ſoleil, & le point O eſt un ſpectateur dont l'œil ne recevroit d'autres rayons d'en haut que du ſoleil, deſorte que toute la clarté ſeroit renfermée dans le petit angle E O F. En portant ſa vue vers une autre région du ciel comme vers M, on n'en recevroit aucun rayon, & il en ſeroit comme ſi l'on regardoit dans un lieu entiérement obſcur; or tout endroit qui n'envoie aucuns rayons de lumiére eſt noir. Je fais abſtraction des étoiles dont le ciel eſt rempli; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui ſe trouvent dans cette région, n'y entrent, & ils auroient même d'autant plus de force, qu'ils ne ſouffriroient aucun affoibliſſement par l'atmoſphère, telle

que je viens de la ſuppoſer. On verroit donc toutes les étoiles en plein jour, comme dans la nuit la plus obſcure; mais il faut conſidérer que ce plein jour ſe réduiroit au ſeul petit angle E O F, tout le reſte du ciel étant auſſi obſcur que la nuit.

Cependant, près du ſoleil, les étoiles nous ſeroient inviſibles, & nous ne verrions point, par éxemple, l'étoile N; puiſqu'en la regardant, notre œil recevroit en même tems les rayons du ſoleil, deſquels il ſeroit frappé ſi vivement, que la foible lumiére de l'étoile ne ſauroit y exciter de ſenſations. Je ne parle pas de l'impoſſibilité qu'il y auroit à tenir l'œil ouvert; en voulant regarder vers N; cela eſt trop ſenſible pour ne pas être entendu.

Mais en oppoſant au ſoleil un corps opaque qui en interceptât les rayons, on ne manqueroit pas de voir l'étoile N, quelque proche qu'elle fut du ſoleil: V. A. comprendra aiſément dans quel triſte état nous ſerions alors. Ce voiſinage du plus grand éclat & des ténèbres les plus ſombres bleſſeroit notre vue, au point, que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous reſſentons en paſſant ſubitement d'un lieu obſcur dans un autre fort éclairé.

C'eſt donc à ce grand inconvénient que remèdie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant ſoit peu opaques & ſuſceptibles d'illumination. Alors, dès que le ſoleil ſe lève au-deſſus de l'horizon, & même déja

un peu auparavant, toute l'atmoſphère en devient éclairée, & nous préſente ce beau bleu dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; deſorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Auſſi, en regardant vers M *fig. 2. Tab. XI.*, appercevons nous une très-grande clarté; ſoit ce bleu brillant du ciel.

Cette même clarté nous empêche de voir les étoiles pendant le jour: la raiſon en eſt évidente. Elle ſurpaſſe de beaucoup celle des étoiles, & une grande clarté en fait diſparoître une plus petite; or les nerfs de la rétine au fonds de l'œil, étant déja frappés par une lumiére très-forte, ne ſeroient plus ſenſibles à la foible impreſſion des étoiles.

V. A. doit ſe rappeller que le clair de la pleine lune eſt plus de 300,000 fois plus foible que celui du ſoleil, pour ſe convaincre que la clarté qui nous vient des étoiles n'eſt rien en comparaiſon de celle du ſoleil. Or la clarté du ciel pendant le jour eſt déja ſi éclatante, que quoique le ſoleil ſoit couvert, elle ſurpaſſe encore pluſieurs mille fois celle de la pleine lune.

V. A. aura bien apperçu que, de nuit, lorſque la lune eſt pleine, les étoiles paroiſſent beaucoup moins brillantes, & qu'on ne voit que les plus grandes, ſur-tout dans ſon voiſinage, deſorte qu'une grande lumiére étouffe toujours une plus foible.

C'eſt donc un très-grand avantage que no-

tre atmoſphère commence à être éclairée par le ſoleil, avant même qu'il ſe lève, parceque cela nous diſpoſe à ſoutenir la vivacité de ſon éclat, qui ſeroit inſupportable, ſi le paſſage de la nuit au jour étoit ſubit. Le tems pendant lequel l'atmoſphère devient éclairée avant le lever du ſoleil, & conſerve encore de la clarté après le coucher, s'appelle crépuſcule. Ce ſujet mérite par ſon importance, d'être bien conſidéré, & je me propoſe d'en entretenir plus amplement V. A. C'eſt ainſi qu'un article de phyſique en amène un autre.

le 15 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIII.

POUR expliquer la cauſe des crépuſcules, ou de cette clarté du ciel qui précède le lever du ſoleil & qu'on voit après ſon coucher, V. A. n'a qu'à ſe rappeller ce que j'ai déja eu l'honneur de lui dire touchant l'horizon & l'atmoſphère.

Que le cercle AOBD *Tab. XI. fig.* 3. repréſente la terre, & le cercle ponctué *aobd* l'atmoſphère: conſidérons un lieu ſur la terre O, par laquelle on tire une ligne droite HORI qui touche la terre en O, & cette ligne HI repréſentera l'horizon qui ſépare la partie du ciel qui nous eſt viſible de celle qui ne l'eſt

pas. Dès que le ſoleil atteint cette ligne, il paroît donc dans l'horizon en ſe levant ou en ſe couchant, & toute l'atmoſphère en eſt alors éclairée. Mais ſuppoſons que le ſoleil, avant que de ſe lever, ſe trouve encore au-deſſous de la terre en S; d'où le rayon STR friſant la terre en T, puiſſe atteindre le point de l'atmoſphère ſitué dans notre horizon, & les particules opaques qui s'y trouvent en ſeront déja éclairées, &, par conſéquent, nous deviendront viſibles. Ainſi, quelque tems déja avant le lever du ſoleil, l'atmoſphère *ho*R ſur notre horizon commence à être éclairée en R, &, à meſure que le ſoleil s'approche de l'horizon, une plus grande partie en ſera éclairée, juſqu'à-ce qu'elle devienne tout-à-fait lumineuſe.

Cette conſidération me conduit à un autre phénomène autant intéreſſant, qui lui eſt très-étroitement lié, c'eſt que l'atmoſphère nous fait encore appercevoir le ſoleil & les autres aſtres, quelque tems avant qu'ils ſe lèvent au-deſſus de notre horizon, & quelque tems après leur coucher, par la réfraction que les rayons ſouffrent en paſſant de l'éther pur dans l'air groſſier qui conſtitue notre atmoſphère; je vais en donner l'explication.

I. Les rayons de lumiére ne continuent leur route en ligne droite, qu'entant qu'ils ſe meuvent dans un milieu tranſparent de la même nature. Dès qu'ils paſſent d'un milieu dans un autre, ils ſont détournés de

leur route rectiligne, & leur chemin devient comme rompu; c'est ce que l'on nomme la réfraction, dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez long-tems V. A. en expliquant comment les rayons, en passant de l'air dans le verre, & réciproquement, souffrent une réfraction.

II. Or l'éther & l'air étant deux milieux diférens, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc du cercle A M B *Tab. XI. fig.* 4. terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumiére M S de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite M N, mais il prendra, en entrant dans l'air, la route M R un peu diférente de M N, & l'angle N M R est nommé l'angle de réfraction ou simplement la réfraction.

III. J'ai déja remarqué que la réfraction est d'autant plus grande, que le rayon S M tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle B M S est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon S M tomboit perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle B M S fut droit, il n'y auroit point de réfraction, mais le rayon continueroit sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB *Tab. XI. fig.* 5. repréſente la ſurface de la terre, & que l'arc EMF termine l'atmoſphère. Si l'on tire en O la ligne OMV qui touche la ſurface de la terre en O, elle ſera horizontale. Et ſi le ſoleil ſe trouve encore au-deſſous de l'horizon en S, deſorte qu'il nous ſoit encore inviſible, puiſqu'aucun de ſes rayons ne pourroit arriver juſqu'à nous en ligne droite, le rayon SM, étant continué en ligne droite, paſſeroit au-deſſus de nous en N; mais comme il tombe en M ſur l'atmoſphère, & très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y ſouffrira une réfraction aſſez conſidérable; &, au lieu de paſſer en N, il pourra parvenir préciſément en O, deſorte que le ſoleil nous ſoit déja viſible quoiqu'il ſe trouve encore au-deſſous de l'horizon, ou, ce qui revient au même, au-deſſous de la ligne horizontale OMV.

V. Cependant, comme le rayon MO qui entre dans nos yeux eſt horizontal, nous rapportons dans notre jugement le ſoleil à la même direction, & nous nous imaginons qu'il ſe trouve en V, ou dans l'horizon, quoiqu'il ſoit au-deſſous. Et réciproquement, toutes les fois que nous voyons le ſoleil, ou tout autre aſtre, dans l'horizon, nous devons juger qu'il eſt au-deſſous, ſelon l'angle SMV, que les aſtronomes ont obſervé être d'environ demi-dégré, ou, plus exactement, de 32 minutes.

VI. Au matin, nous voyons donc le ſoleil avant qu'il atteigne notre horizon, lorſqu'il en eſt encore diſtant d'un angle de 32 minutes; & le ſoir encore longtems après ſon vrai coucher; puiſque nous le voyons encore juſqu'à ce qu'il ſoit deſcendu à un angle de 32 minutes. On nomme vrai lever ou coucher du ſoleil, lorſqu'il ſe trouve dans l'horizon, mais lorſqu'il commence à paroître le matin ou à diſparoître le ſoir, c'eſt le lever ou coucher apparent.

VII. Cette réfraction de l'atmoſphère, qui fait que le lèver apparent du ſoleil précède ſon veritable lèver, cette réfraction, dis-je, nous procure l'avantage de jouïr de jours plus longs qu'ils ne ſeroient ſans cet effet de l'atmoſphère. Voilà donc l'explication d'un phénomène bien important.

le 18 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIV.

V. A. aura compris cet effet ſingulier de notre atmoſphère, par lequel nous voyons le ſoleil & tous les autres corps céleſtes dans l'horizon, quoiqu'encore plongés au-deſſous, enſorte qu'ils ſeroient inviſibles pour nous ſans la réfraction. C'eſt par la même raiſon que le ſoleil & toutes les étoiles, nous paroiſſent

toujours plus élevés au-deſſus de l'horizon qu'ils ne le ſont effectivement; ce qui fait que l'on doit diſtinguer ſoigneuſement la hauteur apparente d'une étoile, de la véritable à laquelle elle paroîtroit, s'il n'y avoit point d'atmoſphère. Je vais mettre ceci dans tout ſon jour.

I. Que l'arc AOB *Tab. XI. fig. 6.* ſoit une partie de la ſurface de la terre, & O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la ſurface de la terre, & cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou, qu'on érige en O verticalement la ligne droite OZ; qui eſt la même qu'un fil ſuſpendu & chargé d'un poids indiqué. Cette ligne eſt nommée ici verticale, & le point du ciel Z auquel elle aboutit, porte le nom de zénith. Or cette ligne OZ eſt perpendiculaire ſur l'horizontale HOR, deſorte que l'une étant connue on peut aiſément déterminer l'autre.

II. Cela poſé, ſoit *Tab. XI. fig. 7.* une étoile en S, & s'il n'y avoit point d'atmoſphère, le rayon SMO paſſeroit en ligne droite à l'œil O, & nous la verrions dans la même direction OMS, où elle ſe trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans ſon véritable lieu. On méſure alors l'angle SOR que fait le rayon SO avec l'horizon OR, & cet angle eſt nommé la hauteur de l'étoile ou ſon élévation au-deſſus de l'ho-

rizon. Ou bien on mésure l'angle S O Z que fait le rayon S O, avec la ligne verticale OZ, dirigée vers le zénith, & puisque l'angle Z O R est droit, ou de 90 dégrés, on n'a qu'à soustraire l'angle S O Z de 90 dégrés, pour avoir l'angle SOR qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc HDNMR, & je remarque d'abord que le rayon précédent de l'étoile SM en entrant en M dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O, mais qu'il prendra à cause de la réfraction un autre chemin comme NP, & n'entrera point par conséquent dans nos yeux; desorte que si l'étoile ne lançoit vers la terre que ce rayon SM, elle nous seroit absolument invisible. Or il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tous sens, & que tout l'espace en est rempli.

IV. Il se trouvera donc parmi les autres quelque rayon comme SN, qui est rompu ou réfracté au haut de l'atmosphère en N; ensorte que sa continuation NO passe précisément à l'œil O. Le rayon réfracté N O ne se trouve donc pas en ligne droite avec celui SM, & si l'on continue NO vers *s*, la continuation N*s* fera un angle avec le rayon N S, savoir l'angle SN*s* qui est le même qu'on nomme la réfraction, & qui est d'autant plus grand, que l'angle SNR,

ſous lequel le rayon SN entre dans l'atmoſphère, eſt plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conſéquent c'eſt le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S & qui nous la rend viſible; & comme ce rayon nous vient dans la direction N O, comme ſi l'étoile s'y trouvoit, nous jugeons auſſi l'étoile ſituée dans la direction NO, ou bien dans ſa continuation quelque part en *s*. Ce lieu *s* étant diférent du véritable S, on nomme *s* le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien diſtinguer du véritable lieu S, où nous verrions l'étoile s'il n'y avoit point d'atmoſphère.

VI. Puis donc que nous voyons l'étoile par le rayon NO, l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon, eſt la hauteur apparente de l'étoile; & quand on meſure, par le moyen des inſtrumens propres à cette opération, l'angle N O R, on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile; la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle R O S.

VII. De-là il eſt évident que la hauteur apparente RON eſt plus grande que la hauteur véritable ROM; deſorte que les étoiles nous paroiſſent plus élevées au-deſſus de l'horizon qu'elles ne le ſont en effet, par la même raiſon, que les étoiles nous paroiſſent déja dans l'horizon, quand elles ſont encore

au-dessous. Or l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable, est l'angle MON qui ne difère pas de l'angle SNs qu'on nomme la réfraction. Car, quoique l'angle SNs, comme étant l'externe au triangle SNO, soit égal aux deux internes opposés SON & NSO pris ensemble, il faut considérer qu'à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS & NS sont paralleles, & conséquemment l'angle OSN s'évanouït, desorte que l'angle SON est prèsque égal à l'angle de réfraction SNs.

VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il faut en retrancher la réfraction, pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'est pas possible de connoître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine, afin de découvrir éxactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour le véritable.

IX. Après une longue suite d'observations, ils ont enfin dressé une table, qu'on nomme la table de réfraction, qui marque pour chaque hauteur apparente la réfraction ou l'angle qu'il faut en retrancher. Ainsi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paroît dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais pour peu que l'é-

toile paroiſſe élevée au-deſſus de l'horizon, la réfraction devient beaucoup moindre. A la hauteur de 15 dégrés elle n'eſt plus que de 4 minutes, à la hauteur de 40 dégrés elle n'eſt que d'une minute, & pour de plus grandes hauteurs, elle devient toujours plus petite, juſqu'à ce qu'elle s'évanouïſſe entiérement à la hauteur de 90 dégrés.

X. C'eſt ce qui arrive lorſqu'une étoile eſt vue dans le zénith même; car ſa hauteur eſt alors de 90 dégrés, & la hauteur véritable eſt la même que l'apparente; & nous ſommes bien aſſûrés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve réellement, & que la réfraction de l'atmoſphère n'en change point la place, comme dans toutes les autres ſituations.

FIN.

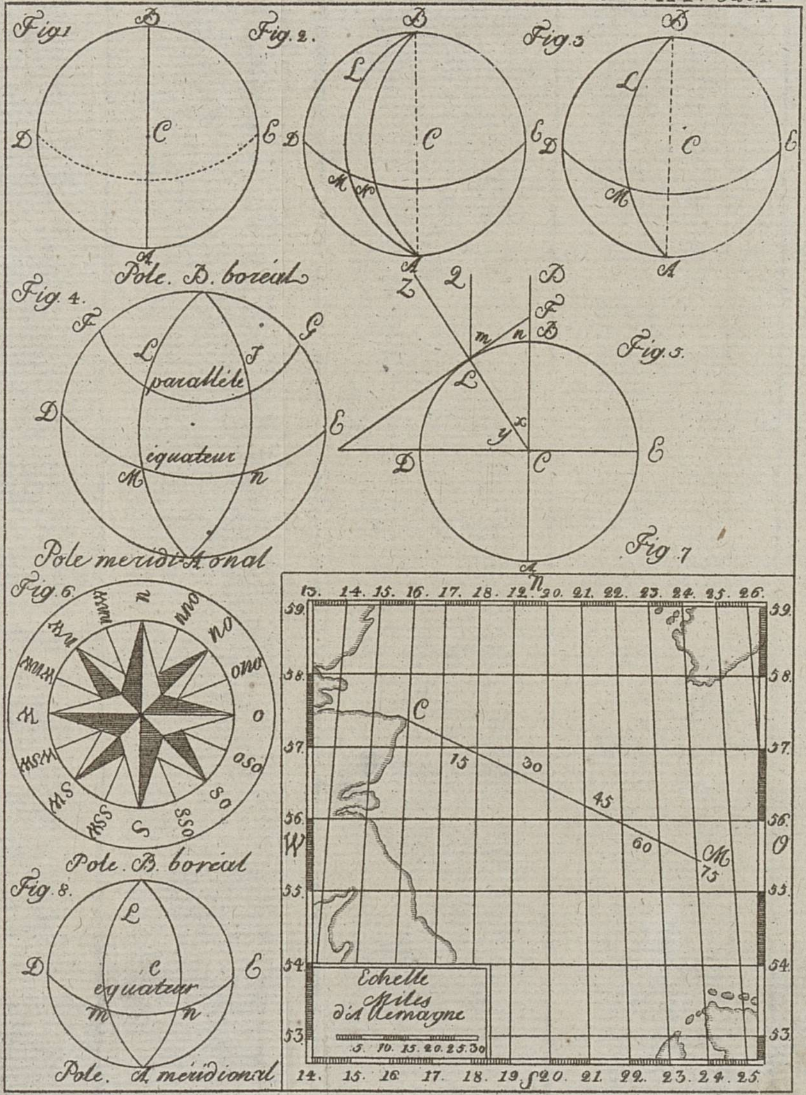
Fig 1
Fig. 2.
Fig. 3
Pole. B. boréal
Fig. 4.
parallele
equateur
Pole meridional
Fig. 5.
Fig 7
Fig. 6.
Pole. B. boréal
Fig. 8.
equateur
Pole. A. meridional
Echelle
Miles
d'Allemagne
W
O

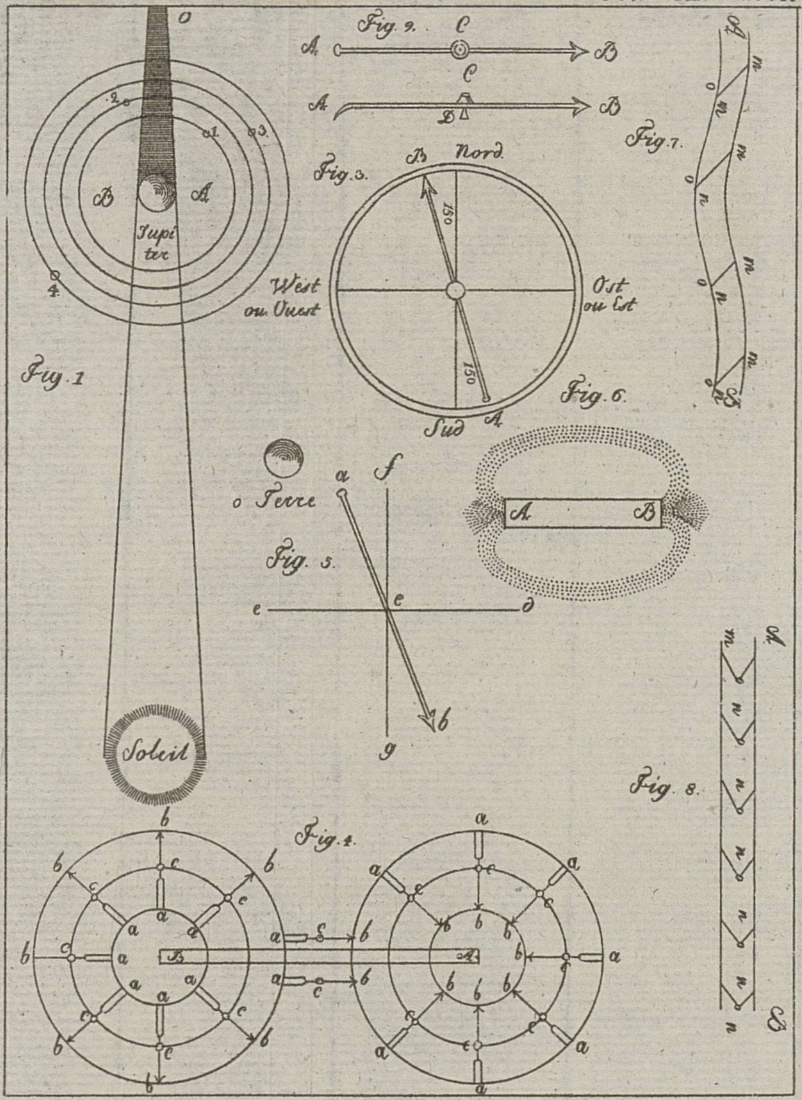
Fig. 1
Jupiter
B
A
1.
2.
3.
4.
o Terre
Soleil
Fig. 9.
C
A
B
D
Fig. 3.
Nord
Sud
West ou Uuest
Ost ou Est
Fig. 7.
Fig. 6.
Fig. 5.
a
b
e
d
f
g
Fig. 4.
Fig. 8.

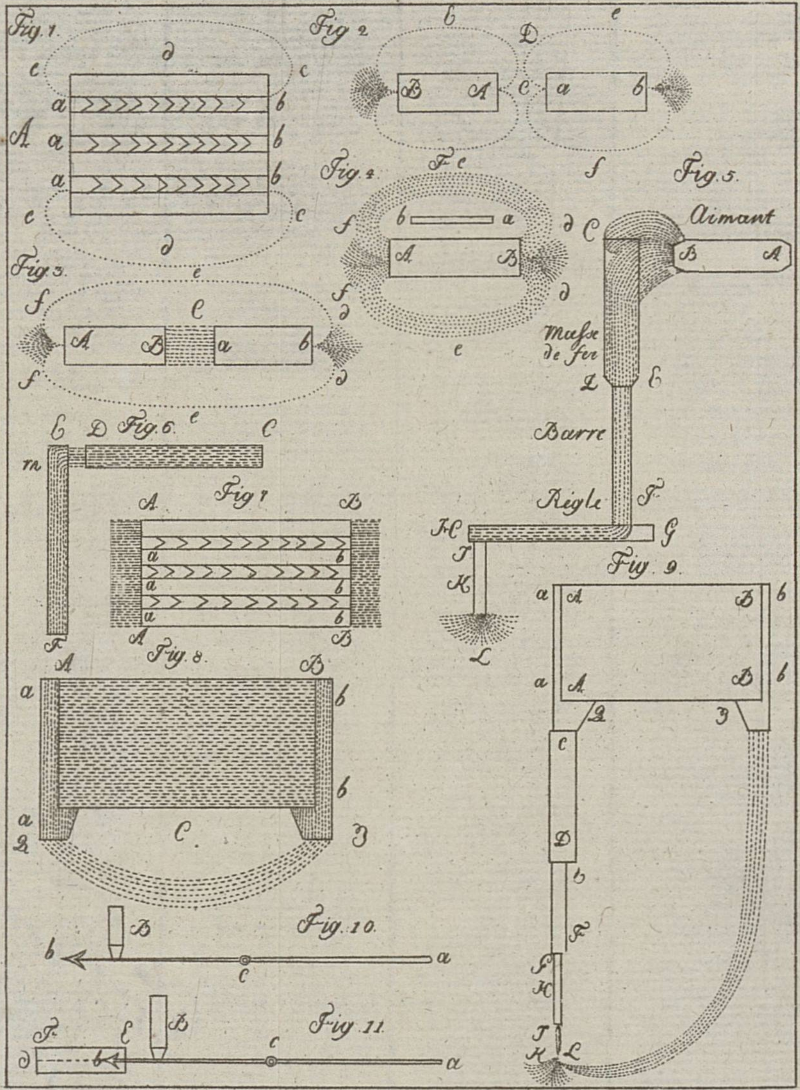
Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Aimant
Masse de fer
Barre
Regle
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 9
Fig. 10
Fig. 11

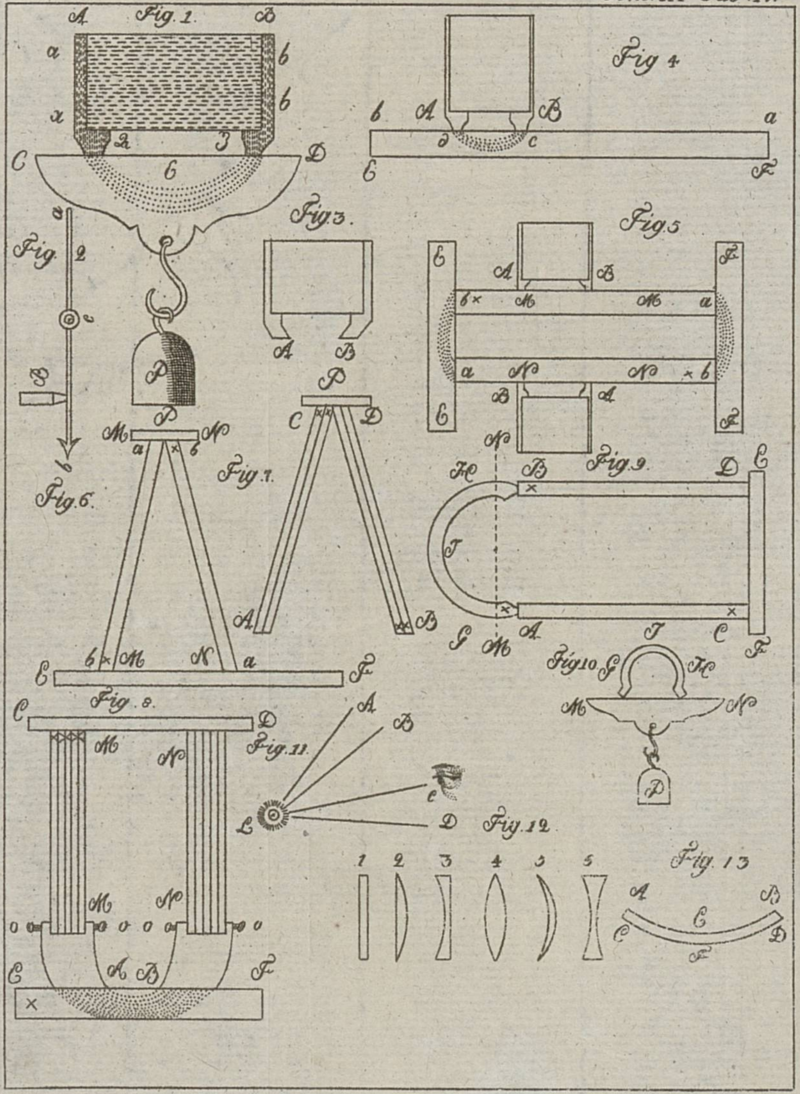
Fig. 1
Fig 2
Fig 3.
Fig 4
Fig 5
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig 10
Fig. 11.
Fig. 12
Fig. 13

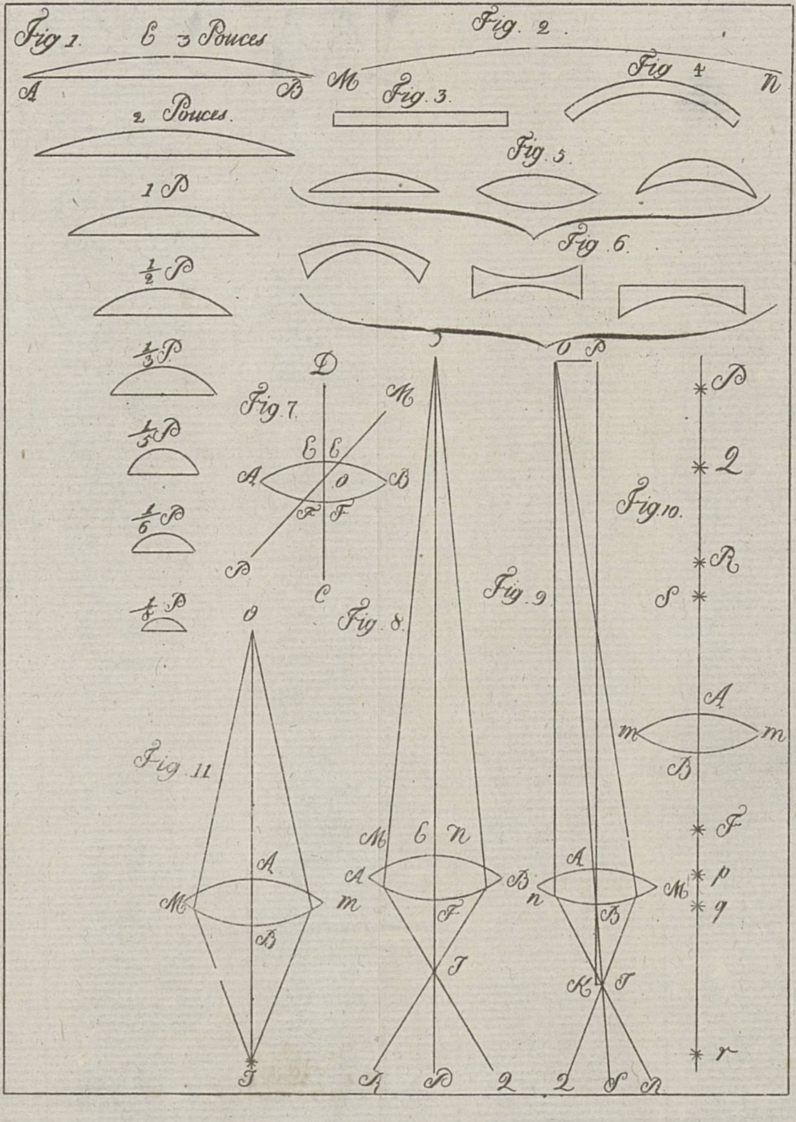
Fig 1.
E 3 Pouces
A
B
2 Pouces.
1 P
½ P
⅓ P
⅕ P
⅙ P
⅛ P
Fig. 2.
M
N
Fig. 3.
Fig 4
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig 7.
D
M
E E
A
O
B
F F
P
C
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11
O
A
M
m
B
T
M E N
A
B
n
F
T
P
Q
O P
A
M
B
K T
Q S R
P
Q
R
S
A
m
m
B
F
p
q
r

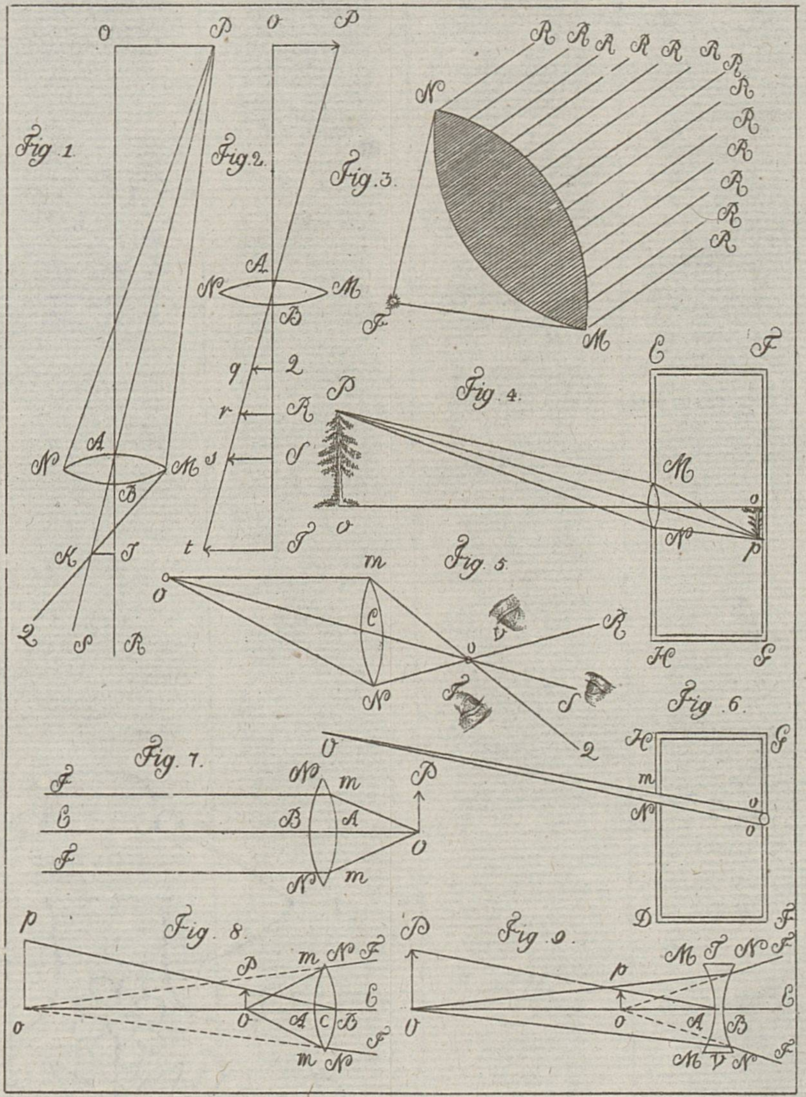
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.

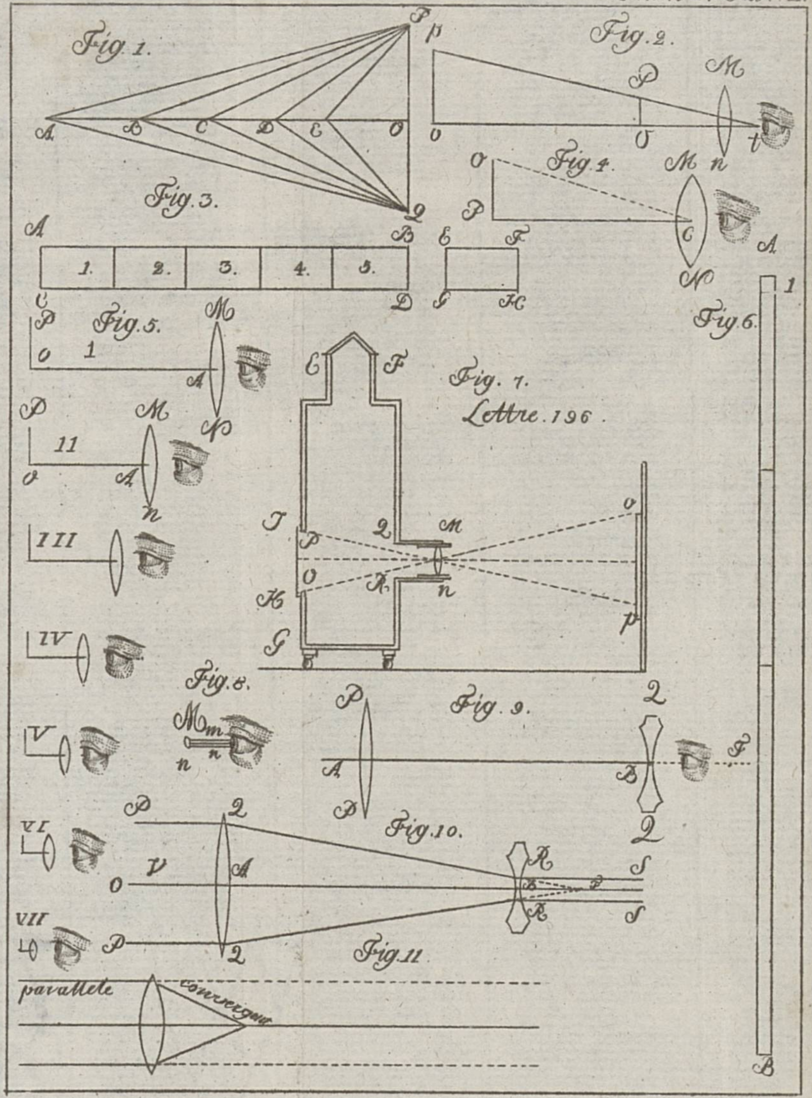
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Lettre. 196.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
parallele
convergens

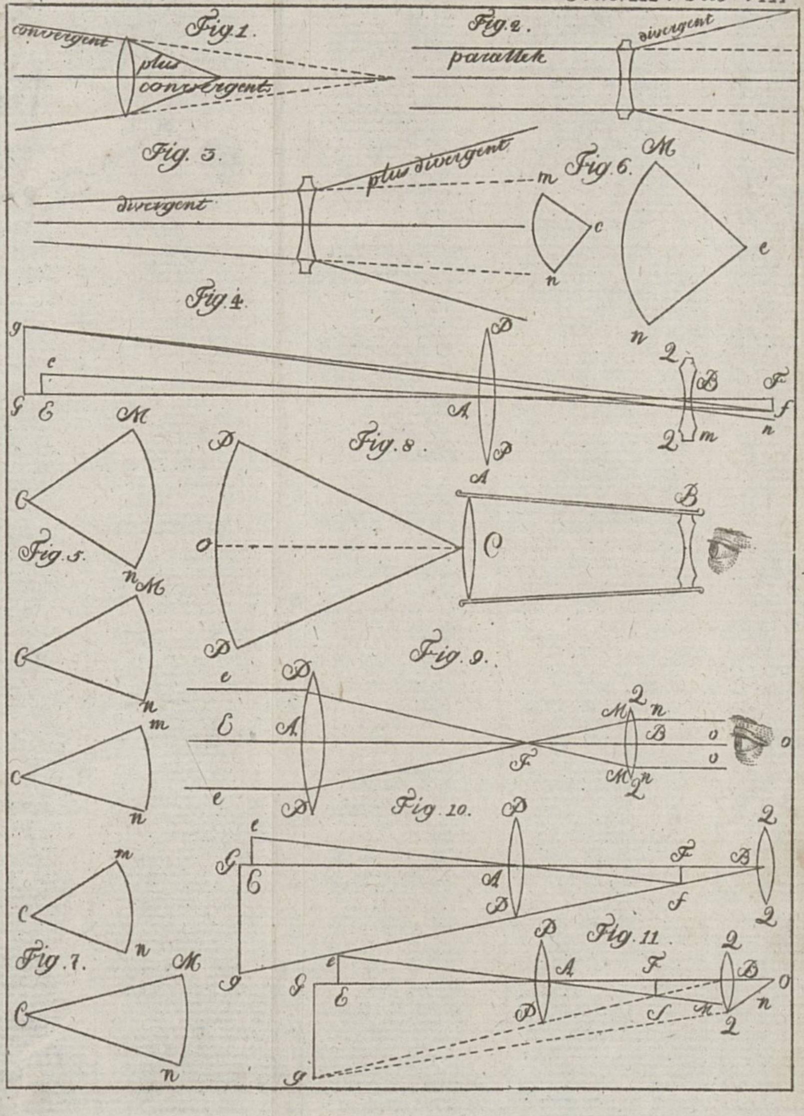
Fig. 1.
convergent
plus convergent
Fig. 2.
parallele
divergent
Fig. 3.
divergent
plus divergent
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.

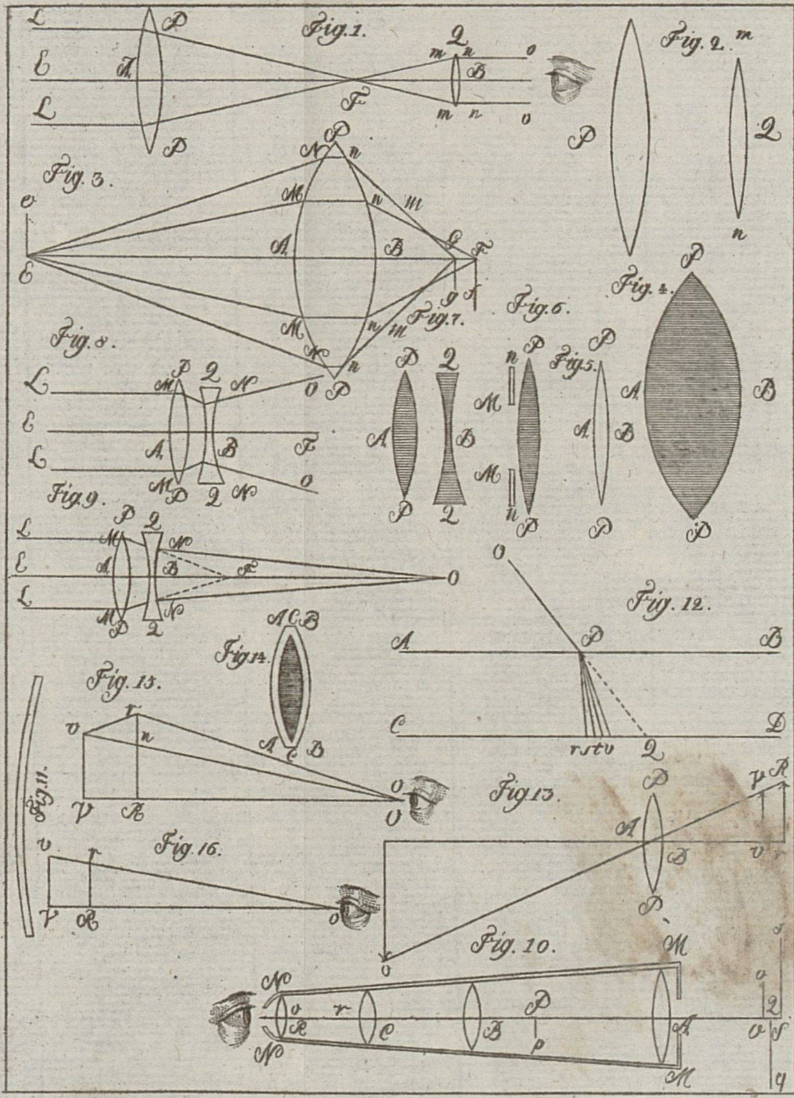
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.

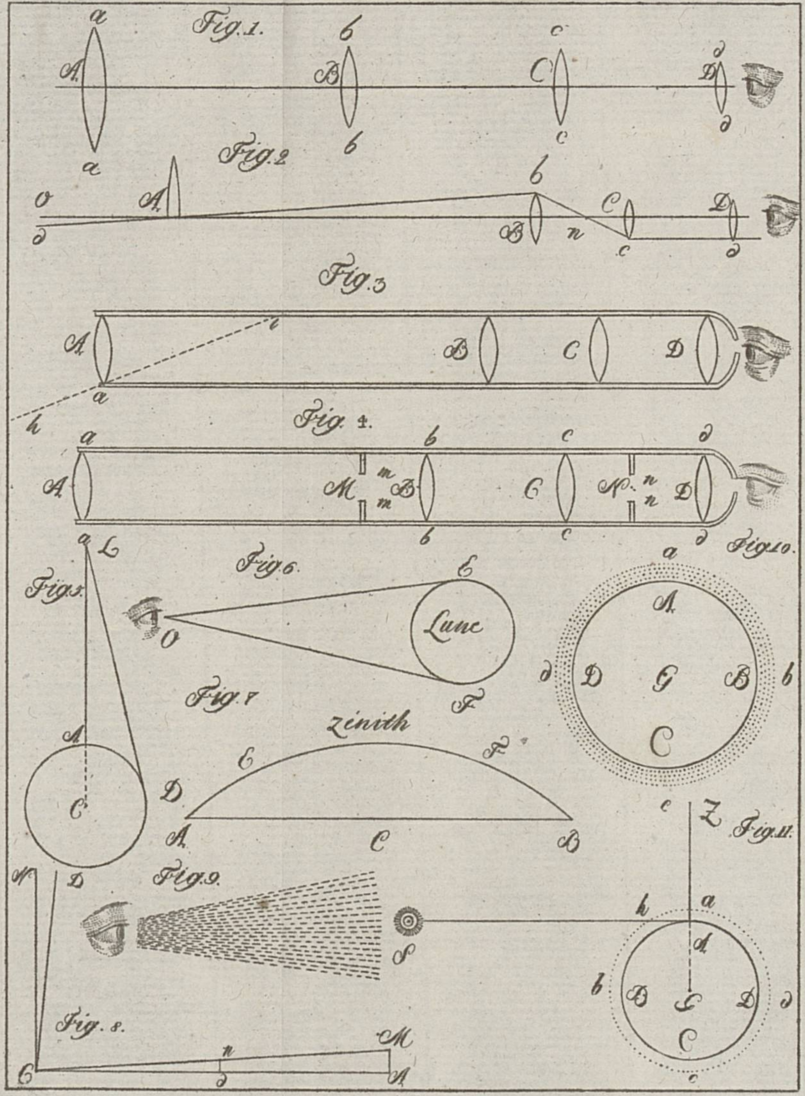
Fig. 1.
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6
Lune
Fig. 7
zenith
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.

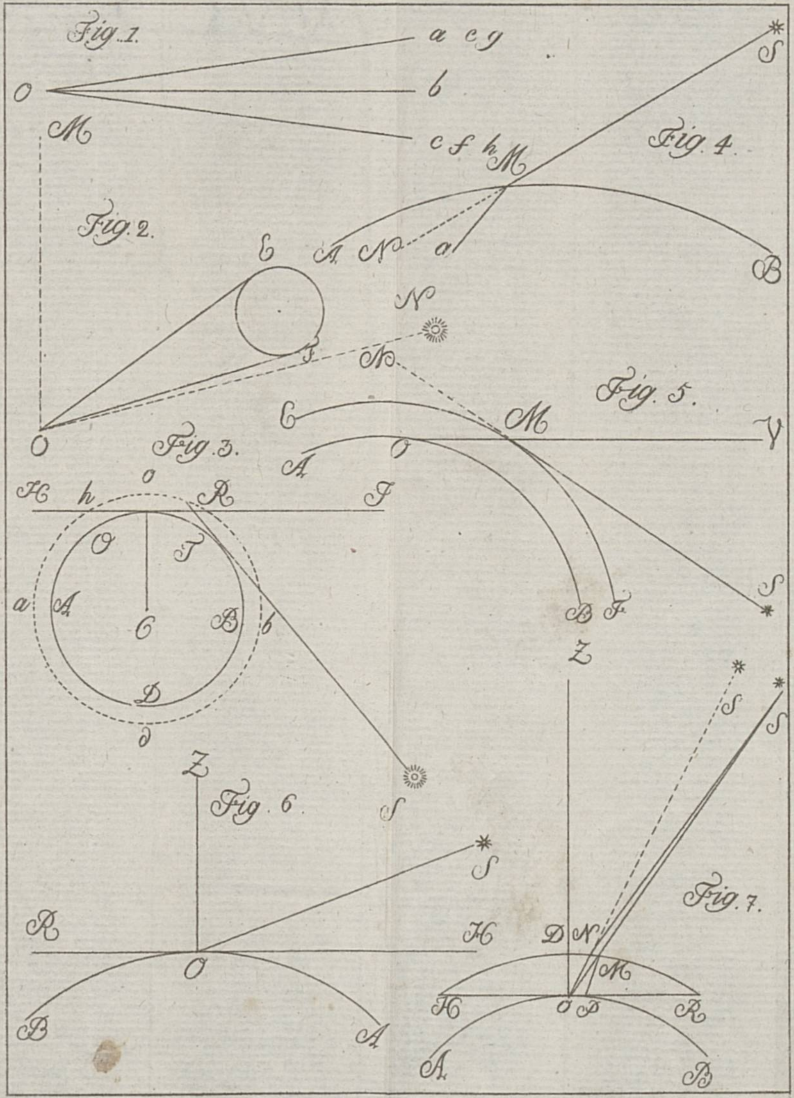
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.

LETTRES
A UNE
PRINCESSE
D'ALLEMAGN

3

DMA
Oeuvres
01
EUL
2001 295

inches 4 3 2 1 0 — 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 centimeters

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19
Density →										0.04	0.09	0.15	0.22	0.36	0.51

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
L*	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87	L*
a*	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17	a*
b*	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46	b*
Density	0.75	0.98	1.24	1.67	2.04	2.42										

D50 Illuminant, 2 degree observer

Golden Thread

Colors by Munsell Color Services Lab

Don Williams